

**ANALISIS PENGHEMATAN ENERGI PADA SISTEM FORCED  
DRAFT FAN DAN PRIMARY AIR FAN DI PLTU TANJUNG JATI B  
JEPARA DENGAN MENGGUNAKAN METODE VARIABLE  
FREQUENCY DRIVE**

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar master pada  
Fakultas Teknologi Industri jurusan Magister Teknik Elektro  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Oleh :

**Nama : PRAMONO MUKTI WIBOWO**

**NIM : 20601700010**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

### TESIS

#### ANALISIS PENGHEMATAN ENERGI PADA SISTEM FORCED DRAFT FAN DAN PRIMARY AIR FAN DI PLTU TANJUNG JATI B JEPARA DENGAN MENGUNAKAN METODE VARIABLE FREQUENCY DRIVE

yang dipersiapkan dan disusun oleh  
Pramono Mukti Wibowo  
NIM: 20601700010

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Pada tanggal 5 Juni 2021

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama

**Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.**  
NIDN: 0618066301

Ketua Penguji

**Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si**  
NIDN: 0620026501

Pembimbing Pendamping

**Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D**  
NIDN: 0628097501

Penguji 1

**Dr. Ir. Hj. Novi Marlana, S.T., M.T**  
NIDN: 0015117601

Penguji 2

**Ir. Survani Alifah, M.T., Ph.D**  
NIDN: 0625036901

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik.

Tanggal 5 Juni 2021



**Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D**  
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pramono Mukti Wibowo  
NIM : 20601700010  
Program Studi : Magister Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Elektro dengan judul:

**“Analisis Penghematan Energi pada Sistem Forced Draft Fan dan Primary Air Fan di PLTU Tanjung Jati B Jepara dengan Menggunakan Metode Variable Frequency Drive”**

Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung (Unissula) ataupun pada universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu, disitasi dan ditunjuk dalam daftar pustaka. Tesis ini adalah milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, 05 Juni 2021



Pramono Mukti Wibowo  
NIM: 20601700010

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

- ✓ “Dan tidaklah Aku menciptakan jin dan manusia melainkan untuk beribadah kepada-Ku (saja)”. (QS. Adz-Dzariyaat:56)
- ✓ “Sebaik-baik manusia diantaramu adalah yang paling banyak manfaatnya bagi orang lain” (H.R. Bukhari)
- ✓ “Menuntut ilmu itu wajib atas setiap muslim” (H.R. Ibnu Majah)

### PERSEMBAHAN

- ✓ Keluarga besar tercinta khususnya kepada Bapak (Alm) Drs. Ngusman, Ibu Siti Aminah, Istri Syafa’atun, S.Pd, anak Akhlaqul Hanif dan Muhammad Arshaka yang selalu mendo’akan dan memotivasi.
- ✓ Teman-teman yang telah memberikan semangat dan persahabatan.
- ✓ Almamater tempat menuntut ilmu.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis yang berbentuk Tesis dengan baik. Sholawat serta salam semoga tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya serta kita selaku umatnya dapat senantiasa istiqomah menjalankan sunnahnya.

Penyusunan Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Magister Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tesis ini, tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materiil. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Bedjo Santoso, MT., Ph.D selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Novi Marlyana, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Arief Marwanto, S.T. M.Eng. Ph.D selaku Kaprodi dan Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT. selaku Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
5. Seluruh Dosen pengampu kuliah dalam Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak (Alm) Drs. Ngusman, Ibu Siti Aminah, Istri Syafa'atun, S.Pd, anak Akhlaqul Hanif dan Muhammad Arshaka beserta teman-teman MTE angkatan 2017 yang telah memberi dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.

Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat sebagaimana yang diharapkan. Akhir kata penulis mengharapkan kritik dan saran guna penyempurnaan bidang ilmu yang penulis dalami.

Jepara, 1 Juni 2021

Penulis

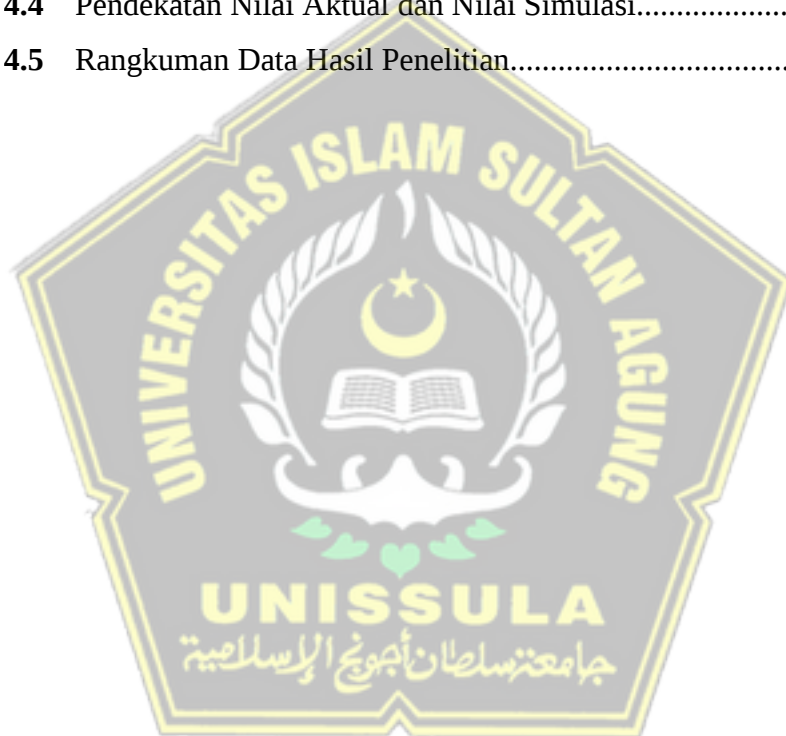
## DAFTAR ISI

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                                      | i    |
| PENGESAHAN TESIS.....                                                   | ii   |
| PERNYATAAN.....                                                         | iii  |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....                                              | iv   |
| KATA PENGANTAR.....                                                     | v    |
| DAFTAR ISI.....                                                         | vi   |
| DAFTAR TABEL.....                                                       | viii |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                      | ix   |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                                                    | x    |
| ABSTRAK.....                                                            | xi   |
| ABSTRACT.....                                                           | xii  |
| BAB I PENDAHULUAN.....                                                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                                | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                              | 2    |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                             | 2    |
| 1.5 Kontribusi Tesis.....                                               | 3    |
| 1.6 Keaslian Penelitian.....                                            | 3    |
| 1.7 Sistematika Penulisa.....                                           | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....                            | 5    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka.....                                               | 5    |
| 2.2 Dasar Teori.....                                                    | 6    |
| 2.2.1 Boiler.....                                                       | 9    |
| 2.2.2 Turbin Uap.....                                                   | 10   |
| 2.2.3 Generator.....                                                    | 11   |
| 2.2.4 Fan.....                                                          | 11   |
| 2.2.4.1 Karakteristik Sistem dan Kurva Fan.....                         | 11   |
| 2.2.4.2 Hubungan antara Kecepatan, Laju Udara,<br>Tekanan dan Daya..... | 12   |
| 2.2.4.3 Fan dalam Sistem <i>Draft Fan</i> .....                         | 14   |
| 2.2.4.4 <i>Primary Air Fan (PAF)</i> .....                              | 15   |

|                                                     |                                                           |    |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4.5                                             | <i>Forced Draft Fan (FDF)</i> .....                       | 16 |
| 2.3                                                 | Prinsip Kerja <i>Variable Frequency Drive (VFD)</i> ..... | 17 |
| 2.3.1                                               | <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i> .....                 | 18 |
| 2.3.2                                               | Pengukuran VFD.....                                       | 20 |
| 2.3.2.1                                             | Pengukuran Daya.....                                      | 20 |
| 2.3.2.2                                             | Biaya Daya Listrik.....                                   | 20 |
| 2.3.2.3                                             | Peluang Penghematan.....                                  | 21 |
| 2.3.2.4                                             | Waktu Kembali Modal.....                                  | 21 |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....              |                                                           | 22 |
| 3.1                                                 | Tahapan Penelitian.....                                   | 22 |
| 3.2                                                 | Model Simulasi VFD.....                                   | 23 |
| 3.3                                                 | Pengambilan Data.....                                     | 25 |
| 3.4                                                 | Pengolahan Data.....                                      | 27 |
| 3.5                                                 | Analisa Peluang Penghematan Energi Listrik.....           | 28 |
| 3.6                                                 | Alat dan Bahan.....                                       | 28 |
| <b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> ..... |                                                           | 29 |
| 4.1                                                 | Perhitungan Daya Aktual.....                              | 29 |
| 4.2                                                 | Perhitungan Daya dengan Simulasi Matlab Simulink.....     | 32 |
| 4.2.1                                               | Parameter VFD.....                                        | 32 |
| 4.2.2                                               | Sinyal Keluaran VFD.....                                  | 34 |
| 4.2.3                                               | Perhitungan Daya Simulasi.....                            | 38 |
| 4.2.3.1                                             | Total Daya Motor FDF.....                                 | 39 |
| 4.2.3.2                                             | Total Daya Motor PAF.....                                 | 40 |
| 4.3                                                 | Peluang Penghematan.....                                  | 41 |
| 4.4                                                 | Waktu Kembali Modal.....                                  | 41 |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....             |                                                           | 43 |
| 5.1                                                 | Kesimpulan.....                                           | 43 |
| 5.2                                                 | Saran.....                                                | 43 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                         |                                                           | 45 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                               |                                                           | 48 |

## DAFTAR TABEL

|                  |                                                                 |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1</b> | Prediksi Prosentase Kecepatan, Laju Udara, Tekanan dan Daya.... | 12 |
| <b>Tabel 2.2</b> | Spesifikasi Motor PAF.....                                      | 15 |
| <b>Tabel 2.3</b> | Spesifikasi Motor FDF.....                                      | 16 |
| <b>Tabel 3.1</b> | Daftar Data Primer.....                                         | 27 |
| <b>Tabel 3.2</b> | Daftar Data Sekunder.....                                       | 27 |
| <b>Tabel 4.1</b> | Rangkuman Data Aktual Motor FDF dan PAF dalam 1 Tahun.....      | 32 |
| <b>Tabel 4.2</b> | Parameter VFD.....                                              | 33 |
| <b>Tabel 4.3</b> | Data Hasil Simulasi.....                                        | 35 |
| <b>Tabel 4.4</b> | Pendekatan Nilai Aktual dan Nilai Simulasi.....                 | 39 |
| <b>Tabel 4.5</b> | Rangkuman Data Hasil Penelitian.....                            | 42 |



## DAFTAR GAMBAR

|                    |                                                                     |    |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Skema Konversi Energi Pembangkit.....                               | 6  |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Model Sistem FDF dan PAF.....                                       | 8  |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Sistem FDF dan PAF menggunakan VFD.....                             | 9  |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Konstruksi Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....                | 10 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Kurva Kinerja Fan.....                                              | 11 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Kurva hubungan antara Kecepatan, Laju Udara, Tekanan dan Daya.....  | 11 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Prinsip Kerja VFD.....                                              | 17 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | <i>PWM Drive Basic Schematic</i> .....                              | 18 |
| <b>Gambar 2.9</b>  | Bentuk Gelombang <i>Inverter</i> Sistem PWM.....                    | 19 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | <i>Flow Chart</i> Tahapan Penelitian.....                           | 22 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | <i>Single Line Diagram</i> Motor FDF dan PAF.....                   | 23 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Model Simulasi VFD.....                                             | 24 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Rangkaian VFD Matlab Simulink.....                                  | 26 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Tampilan Motor FDF pada DCS.....                                    | 29 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Tampilan Motor PAF pada DCS.....                                    | 30 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Tampilan Tegangan Motor pada Panel Listrik.....                     | 30 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Tampilan Daya Motor PAF pada Panel Listrik.....                     | 31 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Tampilan Daya Motor FDF pada Panel Listrik.....                     | 31 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Sinyal Keluaran VFD.....                                            | 34 |
| <b>Gambar 4.7</b>  | Grafik Perubahan Frekuensi terhadap Tegangan Motor FDF dan PAF..... | 36 |
| <b>Gambar 4.8</b>  | Grafik Perubahan Tegangan terhadap Kecepatan Motor FDF dan PAF..... | 37 |
| <b>Gambar 4.9</b>  | Grafik Perubahan Kecepatan Motor FDF terhadap Debit Udara.....      | 37 |
| <b>Gambar 4.10</b> | Grafik Perubahan Kecepatan Motor PAF terhadap Debit Udara.....      | 38 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                    |                                                                                                   |    |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Lampiran 1.</b> | Data pengamatan motor FDF dan PAF unit 3A selama 1 tahun (1 Januari 2019 - 31 Desember 2019)..... | 48 |
| <b>Lampiran 2.</b> | <i>Trend</i> padam motor FDF dan PAF dalam DCS.....                                               | 60 |
| <b>Lampiran 3.</b> | Rangkaian Simulasi Matlab.....                                                                    | 63 |
| <b>Lampiran 4.</b> | Referensi Harga VFD FDF.....                                                                      | 65 |
| <b>Lampiran 5.</b> | Referensi Harga VFD PAF.....                                                                      | 68 |



## ABSTRAK

Sistem *Forced Draft Fan (FDF)* dan *Primary Air fan (PAF)* yang digunakan pada PLTU tanjung jati B unit #3&4 pada saat ini kurang efisien, efisiensi energi dalam FDF hanya sebesar 32% dan efisiensi PAF sebesar 49.01%. Hal ini disebabkan oleh pemakaian inlet *dampers* dalam mengatur *flow rate* udara terbuka sebesar 51.3% untuk FDF dan 62.2% untuk PAF. Akibat dari ketidak-efisienan tersebut maka terjadi kerugian daya listrik sebesar 13.352.929 KW (13,35 GW) dan kerugian finansial sebesar Rp. 13.352.929.140 per tahun. Salah satu solusi terhadap pemborosan tersebut dilakukan dengan membuka inlet dan outlet *dampers* sebesar 100% diikuti dengan pengaturan kecepatan motor menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* untuk menurunkan debit udara.

Penelitian ini membahas tentang Analisis Penghematan Energi pada Sistem *Forced Draft Fan* dan *Primary Air Fan* di PLTU Tanjung Jati B Jepara dengan Menggunakan Metode *Variable Frequency Drive*. Model ditetapkan sebagai FDF dan PAF yang merupakan bagian dari boiler. Parameter yang ditetapkan antara lain: frekuensi, tegangan, arus dan debit udara. Simulasi *Matlab/Simulink* digunakan untuk menghitung total energi listrik setelah dipasang VFD pada motor FDF dan PAF.

Hasil menunjukkan bahwa penghematan energi listrik setelah digunakan VFD sebesar 8.233.573,444 KW (8.45 GW) per tahun dengan nilai finansial Rp 8.233.573.444 atau sebesar 32,1%, efisiensi FDF sebesar 72,57% dan PAF 66,84%.

**Kata Kunci:** *Penghematan Energi, FDF, PAF, VFD*



## ABSTRACT

The Forced Draft fan (FDF) and Primary Air Fan (PAF) systems used in PLTU Tanjung Jati B unit #3&4 are unefficient, energy efficiency of FDF is 32% and PAF efficiency is 49.01%. Unefficiency due to the usage of inlet damper which adjusted the air flow rate opened only 51.3% in FDF and 62.2% in PAF. As the result of this unefficiency, there was a loss of electrical power around 13,352,929 KW (13.35 GW) and a financial loss Rp. 13,352,929,140 a year. The solution to overcome this problem is to open the inlet and outlet of damper by 100% followed by adjust the motor speed using Variable Frequency Drive (VFD) to reduce air flow.

This study discusses the analysis of energy savings in the Forced Draft Fan and Primary Air Fan systems in PLTU Tanjung Jati B Jepara using Variable Frequency Drive Method. Models designated as FDF and PAF which are part of the boiler. The parameters set include: frequency, voltage, current and air discharge. The Matlab / Simulink simulation is used to calculate the total electrical energy after VFD is installed on the FDF and PAF motors.

The results show that the electricity savings using VFD is 8,233,573,444 KW (8.45 GW) per year with a financial value of Rp 8,233,573,444 or 32.1%, efficiency of FDF is 72.57 % and PAF is 66,84%

**Key Word:** *Energy Efficiency, FDF, PAF, VFD*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) membutuhkan udara untuk proses pembakaran batu-bara di dalam *boiler*. Udara digunakan untuk pembakaran batu-bara dan meningkatkan efisiensi agar panas sempurna serta memaksimalkan penghematan bahan bakar. Pemasokan udara diperoleh dari sumber utama *Forced Draft Fan* (FDF) yang mensuplai udara pembakaran dan diikuti oleh *Primary Air Fan* (PAF) untuk mendorong batu-bara ke dalam boiler. Mengacu pada hasil audit energi dan *performance test* yang dilakukan oleh tim Lemtek UI terhadap PLTU Tanjung Jati B Jepara pada tahun 2018 menunjukkan bahwa sistem FDF dan PAF yang digunakan pada saat ini kurang efisien[1], efisiensi energi dalam FDF hanya sebesar 32%, sementara efisiensi PAF sebesar 49.01%. Kemampuan *flow rate* FDF sebesar 1670.8 ton/hr tetapi *flow rate* yang digunakan pada saat bekerja hanya sebesar 1029 ton/hr, sementara kemampuan *flow rate* PAF sebesar 526.5 ton/hr tetapi yang digunakan beroperasi hanya sebesar 257 ton/hr. Ketidak-efisienan tersebut disebabkan oleh pemakaian *inlet damper* dalam mengatur *flow rate* udara, bukaan *inlet damper* FDF sebesar 51.3% dan PAF sebesar 62.2%.

Akibat dari ketidak-efisienan tersebut maka terjadi pemborosan energi daya listrik dalam pengoperasian motor karena penggunaan daya tinggi sementara udara yang dialirkan untuk FDF hanya 61.8% dan untuk PAF hanya 48.8%. Disamping itu juga mengakibatkan kerugian secara finansial. Menurut data kalkulasi dari tim audit tersebut, dengan asumsi sudah terpasang *Variable Frequency Drive* (VFD), timbul kerugian daya listrik dalam motor FDF sebesar 998,63 KW/h atau 6.391.246,93 KW/tahun dan motor PAF sebesar 1.087,76 KW/h atau 6.961.682,21 KW/tahun [1]. Jika dihitung kedalam rupiah (1 KWH = Rp 1000) maka jumlah kerugian finansial sebesar Rp. 13.352.929.140 per tahun.

Solusi terhadap pemborosan tersebut dilakukan dengan cara mekanis dan elektronis. Secara mekanis *inlet* dan *outlet damper* dibuka 100% untuk mengurangi tekanan pada *fan* sehingga arus motor menurun dan *flow rate* udara diatur dengan mengatur kecepatan motor menggunakan VFD untuk menurunkan

debit udara sekaligus menurunkan tegangan motor. Dengan menurunnya arus dan tegangan motor tersebut maka penggunaan energi listrik dapat dikurangi dan peluang penghematan dapat diperoleh[1]–[5].

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti membahas tentang ANALISIS PENGHEMATAN ENERGI PADA SISTEM FORCED DRAFT FAN DAN PRIMARY AIR FAN DI PLTU TANJUNG JATI B JEPARA DENGAN MENGGUNAKAN METODE VARIABLE FREQUENCY DRIVE. Penelitian dilakukan dengan merancang system FDF dan PAF menggunakan simulasi Matlab Simulink agar akurasi data dapat dianalisa secara optimal.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah diuraikan sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang simulasi VFD untuk FDF dan PAF menggunakan Matlab Simulink?
- b. Bagaimana menghitung keuntungan daya motor FDF dan PAF ketika diterapkan VFD untuk mengontrol debit udara ?
- c. Bagaimana menghitung keuntungan finansial setelah diterapkan VFD ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari pelaksanaan evaluasi unjuk kerja FDF dan PAF ini adalah :

- a. Mengetahui model rancangan system FDF dan PAF menggunakan Matlab Simulink
- b. Mengetahui jumlah keuntungan energi listrik pada motor FDF dan PAF sebelum dan sesudah diterapkan VFD.
- c. Mengetahui jumlah keuntungan finansial setelah diterapkan VFD

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penyusunan Tesis ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Bagi peneliti: Menambah ilmu pengetahuan, pemahaman, dan keterampilan di dalam dunia kelistrikan, khususnya dalam penggunaan inverter untuk mengendalikan kecepatan motor berdaya besar dengan tegangan 10 KV.

- b. Bagi dunia industri: diharapkan menjadi kontribusi positif dalam efisiensi energi, dengan adanya penghitungan efisiensi dan kerugian daya tersebut dapat digunakan sebagai bahan acuan untuk melakukan penghematan energi.
- c. Bagi dunia pendidikan: diharapkan dapat meningkatkan pengembangan sistem *air fan* mekanis menjadi sistem elektronis yang pengoperasiannya lebih fleksibel dan hemat daya.

### 1.5 Kontribusi Tesis

- a. Memberikan solusi alternatif dalam penghematan energi dari sisi kelistrikan dengan menerapkan VFD.
- b. Memberikan referensi terhadap penelitian terkait dengan konservasi energi sistem *air fan* pada PLTU.
- c. Memberi rekomendasi kepada perusahaan PLTU untuk melakukan penghematan energi dalam sistem FDF dan PAF berdasarkan hasil simulasi yang menjadi representasi dari sistem aktual.

### 1.6 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelusuran serta tinjauan pustaka yang telah dilakukan terkait dengan analisa penghematan energi dengan menggunakan metode VFD maka didapatkan beberapa penelitian yang berkaitan, yaitu:

- a. Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Phasa menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)*[2]. Penelitian ini menitik-beratkan pada pengujian langsung terhadap motor induksi tiga phasa bertegangan rendah dengan menerapkan VSD tanpa menggunakan beban *fan* yang dikopel pada motor. Pengkajian yang diambil meliputi empat parameter, yaitu tegangan, arus, *cos phi* dan total daya.
- b. Pemasangan *Variable Speed Drives (VSD)* pada *Fan* untuk Menurunkan Penggunaan Listrik di Industri Semen[4]. Penelitian ini menitik-beratkan pada penghematan energi listrik bertegangan rendah dengan membandingkan motor yang menggunakan VSD dan motor yang menggunakan variasi bukaan *dampner*. Parameter yang diambil meliputi tiga aspek, yaitu prosentase bukaan *dampner*, laju aliran udara dan konsumsi daya motor.

Berdasarkan kajian-kajian terhadap penelitian di atas, untuk memperoleh penghematan energi pada sistem *Forced Draft Fan (FDF)* dan *Primary Air Fan (PAF)* di PLTU Tanjung Jati Jepara maka digunakan *Variable Frequency Drive (VFD)*. VSD dan VFD dibedakan karena spesifikasinya, VSD digunakan untuk mengendalikan motor AC dan DC dengan mengubah variasi tegangan, sementara VFD digunakan untuk mengendalikan motor AC dengan mengubah variasi frekuensi. Penelitian dilakukan dengan membandingkan motor yang terpasang VFD disimulasikan oleh *Matlab/Simulink* dengan motor yang menggunakan sistem *damper* dengan menitik-beratkan variasi frekuensi yang diikuti perubahan tegangan, arus, kecepatan, beban *damper* dan perubahan debit udara pada *fan*.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Laporan tesis ini terdiri dari lima bab, dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang permasalahan, rumusan masalah batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Bagian ini membahas teori-teori pendukung secara umum yang berada dalam sistem pembangkitan energi dan komponen-komponen yang berkaitan dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas langkah-langkah sistematis dan logis yang disusun secara bertahap. Setiap tahapan yang ada saling berkesinambungan antara satu dengan yang lain.

#### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Berisikan analisa tentang peluang penghematan energy dan metode penghematan energy dalam system FDF dan PAF.

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan terkait dengan peluang penghematan energi serta saran untuk meningkatkan efisiensi kinerja mesin-mesin yang terlibat dalam sistem PLTU.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

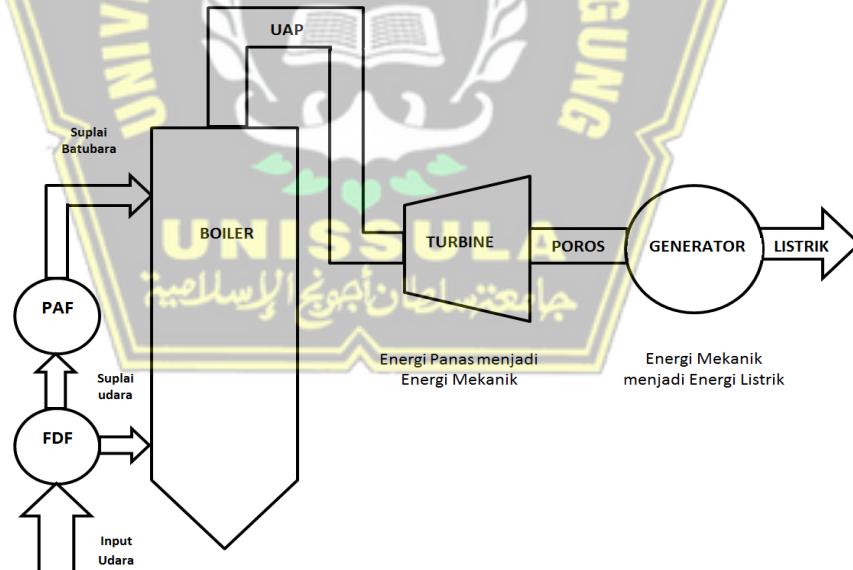
Dalam penyusunan Tesis ini penulis berpedoman pada beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut berbentuk jurnal, skripsi, manual book yang memenuhi standart penelitian, diantaranya adalah:

- a. Analisis penggunaan energi listrik motor induksi tiga fasa menggunakan *variable speed drive* (VSD), Dari hasil penelitian ini diperoleh daya motor induksi tiga fasa bila dioperasikan tanpa menggunakan VSD. Perbandingan penggunaan energi listrik motor induksi tiga fasa menggunakan VSD lebih rendah sebesar 0,149 kWh dibandingkan tanpa VSD dengan penghematan energi listrik sebesar 31,10% dalam satu bulan[2].
- b. Penelitian terhadap VFD dan penghematan yang dihasilkan dengan menggunakan simulasi Matlab/Simulink untuk mendemonstrasikan perbaikan power faktor dan penanganan terhadap gelombang harmonis, penghematan energi dan pengaturan aliran udara secara tepat. Untuk menangani gelombang harmonisa yang timbul dari pengoperasian VFD tersebut digunakan *Band Pass Active Filter* [3], [6], [7].
- c. Penghematan energi menggunakan VFD, penelitian ini menggunakan *Programable Logic Control* (PLC) dalam mengatur VFD selanjutnya mengendalikan kecepatan motor yang terkopel dengan *fan* untuk mengatur laju aliran *fluida*. Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan VFD memberi keuntungan; penghematan energi yang signifikan, pemrograman VFD secara mudah dan keunggulan sistem yang kompetitif [8]–[10].
- d. Analisa efisiensi *Forced Draft Fan* B Unit #10 PT. PJB UBJ O&M PLTU Rembang dengan mempertimbangkan daya input *fan*, daya output *fan* sehingga diketahui perhitungan efisiensi *Force Draft Fan* (FDF). Efisiensi paling tinggi sebesar 75,82% dan efisiensi terendah sebesar 73,64%. Perbandingan fluktuasi tersebut masih dalam keadaan efisien jika ditinjau dari grafik efisiensi vane-axial yaitu diantara 72% - 85 %. Besarnya efisiensi *forced draft fan* tersebut dipengaruhi oleh *flow* udara, arus listrik pada motor dan *head* tekan *fan*[9], [11]–[13].

- e. Perbedaan antara VFD tegangan rendah dengan VFD tegangan medium, tegangan rendah berkisar antara 50V – 1 KV dan tegangan menengah berkisar antara 1 KV – 36 KV. Penggunaan VFD dalam tegangan menengah memiliki gelombang sinusoidal yang hampir sempurna dibandingkan dengan VFD tegangan rendah, sehingga kualitas power listrik yang digunakan menjadi lebih bersih dari sinyal harmonisa yang dihasilkan oleh kecepatan *switching* dalam *Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT)*, dengan demikian maka efisiensi yang dicapai oleh VFD medium voltage menjadi lebih baik.[14]

## 2.2 Dasar Teori

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan mesin yang mengkonversi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi listrik. PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan di berbagai belahan dunia, dikarenakan nilai efisiensinya yang tinggi dan ekonomis serta menghasilkan energi listrik besar dan stabil. Konversi energi di PLTU Tanjung Jati B Jepara terjadi melalui 3 proses tahapan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.1[15] :



**Gambar 2.1** Skema Konversi Energi Pembangkit[15]

Penjelasan Proses konversi energi[15] :

1. Suplai udara menuju FDF, sebagian diberikan kepada boiler untuk proses pembakaran dan sebagian menuju PAF untuk mendorong bahan bakar batu bara ke dalam boiler.

2. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
3. Energi panas (berupa uap) yang berasal dari ruang bakar akan diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
4. Energi mekanik pada putaran turbin akan diubah menjadi energi listrik.

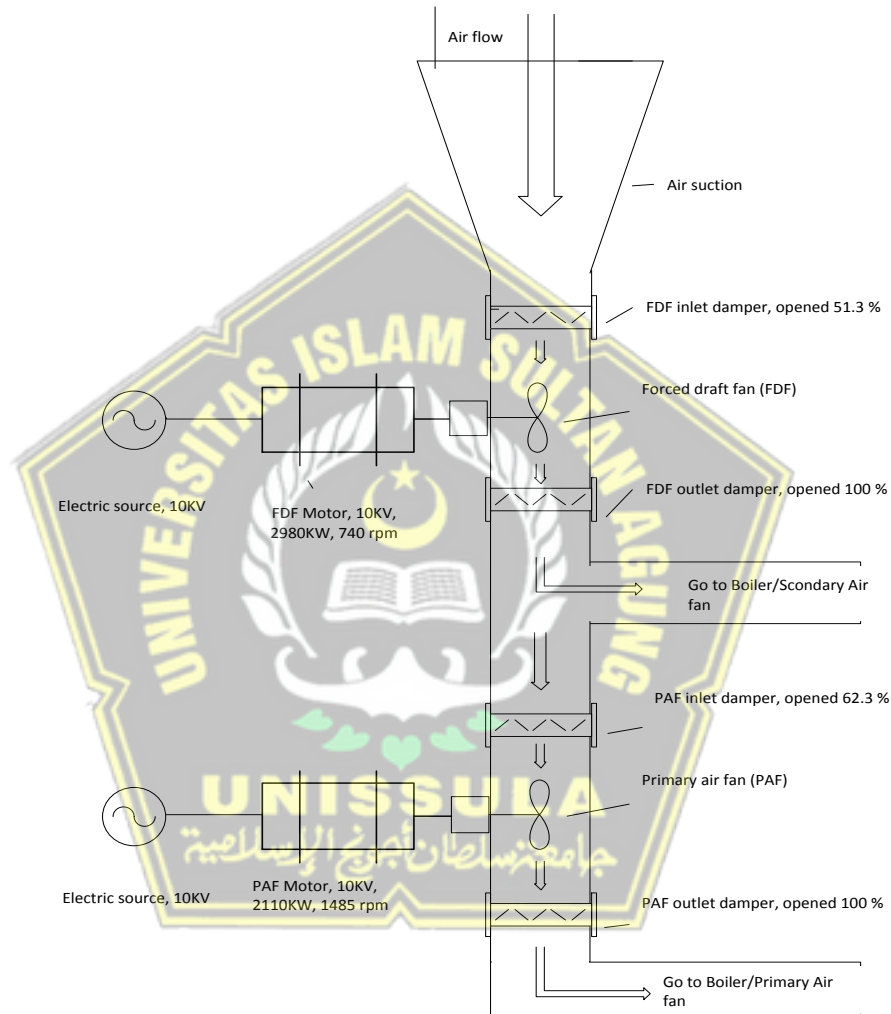
Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit listrik dengan bahan bakar yang berupa batu-bara dengan memanfaatkan fluida kerja uap bertekanan dan bertemperatur tinggi (*steam*) untuk menggerakkan turbin sebagai penggerak awal selanjutnya turbin akan memutar rotor generator secara simultan dan menghasilkan listrik karena turbin dan generator berada dalam satu rangkaian *shaft*. Dalam sistem produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi merupakan sebuah proses perubahan berdasarkan perubahan bentuk dan sifat dari energi tersebut. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam batubara kemudian dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran dalam boiler. Pembangkit listrik tenaga uap termasuk dalam kategori "*thermal plant*", karena pembangkit listrik ini memanfaatkan panas hasil proses pembakaran bahan bakar dari batubara dan udara yang bercampur di dalam ruang bakar (*furnace*) yang kemudian digunakan untuk memanaskan pipa-pipa (*tube*) berisi air atau uap di dalam boiler[15].

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama dan dilakukan proses secara berulang-ulang. Urutan sirkulasi pada PLTU Tanjung Jati B dijelaskan secara singkat adalah sebagai berikut :

1. Air diisikan ke boiler hingga memenuhi seluruh pipa-pipa (*tube*) dalam ruang bakar (*furnace*). Didalam boiler air ini dipanaskan dengan radiasi gas panas hasil pembakaran bahan bakar dan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Uap hasil dari produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tinggi tersebut disalurkan melalui pipa uap untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Rotor generator yang dikopel langsung dengan turbin tersebut berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari induksi medan magnet dalam kumparan rotor dan stator.

4. Uap sisa yang keluar dari turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin sehingga berubah kembali menjadi air (kondensasi) yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

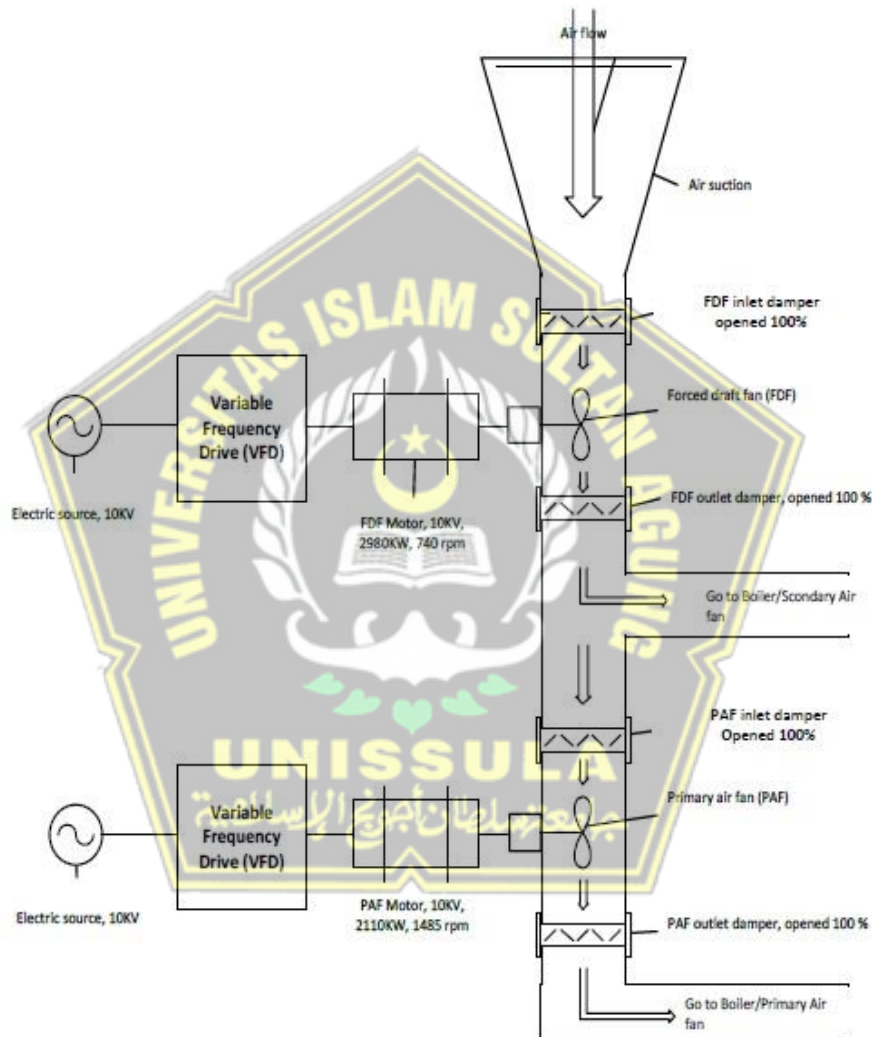
Secara mekanis model sistem FDF dan PAF diperlihatkan dalam Gambar 2.2 [16]–[23] :



**Gambar 2.2** Model Sistem FDF dan PAF[16]–[23]

Sistem FDF dan PAF bekerja secara bersama-sama untuk memberi suplai udara ke dalam boiler, FDF menghasilkan udara untuk proses pembakaran dan PAF menghasilkan udara untuk mendorong batu-bara ke dalam ruang pembakaran. *Inlet* FDF diatur oleh *damper* sebesar 51.3% dan inlet PAF diatur sebesar 62.3%[1].

Dalam model VFD, *inlet damper* pada FDF dan PAF terbuka 100% kemudian laju udara diatur oleh kecepatan motor, ketika putaran motor semakin cepat maka volume udara semakin meningkat, ketika putaran motor melambat maka volume udara juga menurun. Dengan cara ini, penurunan volume udara akan diikuti penurunan daya motor sehingga tidak ada daya motor yang terbuang dan menghasilkan penghematan tenaga listrik. Model sistem FDF dan PAF dengan menggunakan VFD ditunjukkan dalam gambar 2.3[4], [16]–[23];

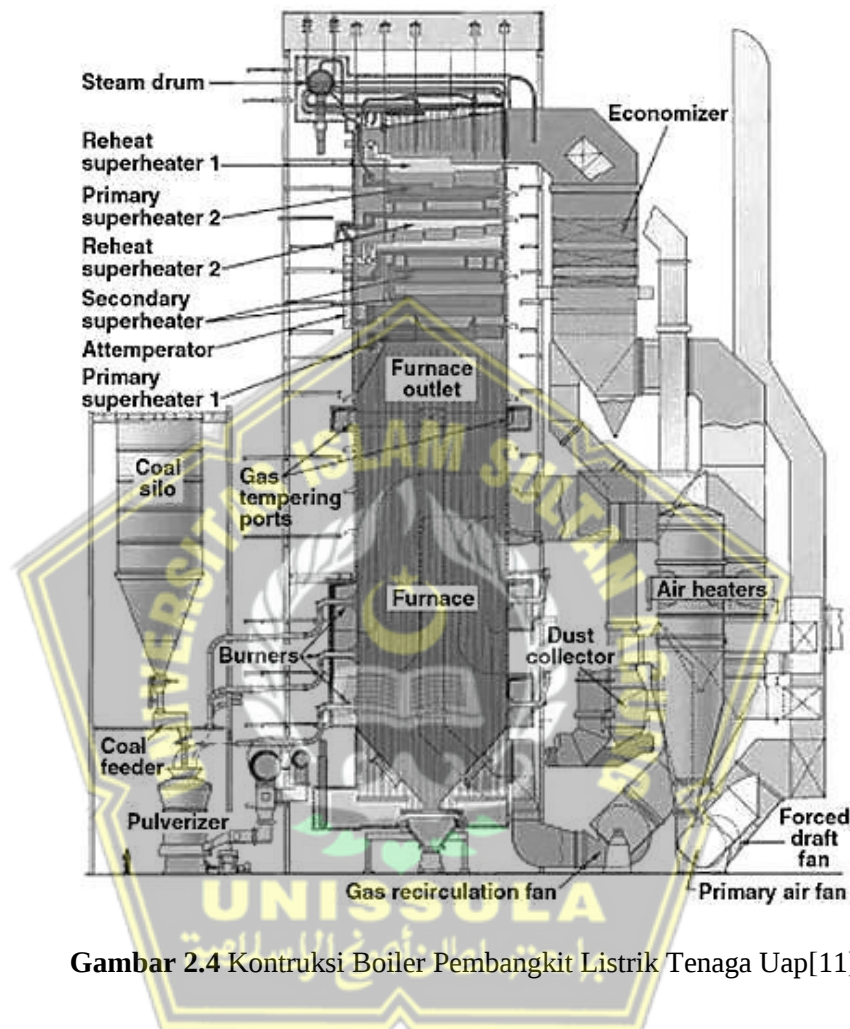


**Gambar 2.3.** Sistem FDF dan PAF menggunakan VFD[4], [16]–[23]

### 2.2.1 Boiler

Boiler atau yang biasa disebut dengan ketel uap merupakan suatu bagian dari sistem produksi pembangkit yang menghasilkan uap pada tekanan dan temperatur tinggi (*superheated*). Perubahan dari fase cair menjadi uap dilakukan dengan memanfaatkan energi panas yang didapatkan dari hasil pembakaran bahan

bakar. *Boiler* pada PLTU Tanjung Jati B menggunakan batubara sebagai bahan bakar utamanya. Sedangkan bahan bakar pendukung adalah solar atau biasa disebut dengan LFO (light fuel oil), dimana solar ini digunakan hanya sebagai pemantik awal (*ignition*) untuk membakar batu bara. Kontruksi boiler dan bagiannya ditunjukkan pada Gambar 2.4 [11],



Gambar 2.4 Kontruksi Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap[11]

### 2.2.2 Turbin Uap

Turbin uap yang digunakan pada pemabngkit listrik tenaga uap merupakan turbin dengan sistem reheater atau pemanasan ulang dan kondensasi uap keluar turbin atau yang dikenal dengan jenis turbin uap *Tandem Compound Reheat Condensing Turbine*. Turbin Uap pembangkit listrik tenaga uap juga merupakan jenis turbin ekstraksi, karena sebagian uap dari tiap-tiap tingkatan turbin ( *High Pressure, Intermediate Pressure dan Low Pressure* ) diekstraksi untuk memanaskan air masukan (*feed water heater*), sehingga tidak semua uap hasil pemanasan di boiler digunakan untuk proses memutar turbin lagi, melainkan sebagian uapnya diekstraksi sebagai pemanasan awal air masukan. Hal ini

bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem dengan menghemat konsumsi bahan bakar boiler. PLTU Tanjung Jati B menggunakan turbin dengan 3 tingkat tekanan, yakni *high pressure* (HP), *intermediate pressure* (IP) dan *low pressure* (LP).

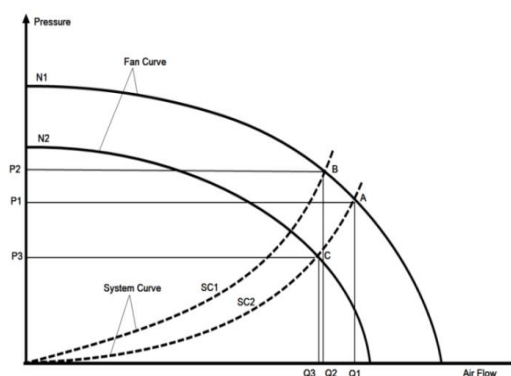
### 2.2.3 Generator

Generator adalah mesin konversi yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Energi listrik dihasilkan melalui proses perputaran rotor yang terlebih dahulu mendapatkan tegangan eksitasi sehingga bersifat magnet, akibat dari perputaran medan magnet tersebut terjadilah gaya gerak listrik pada stator yang mengalirkan listrik sebanyak 3 fasa. Generator di PLTU Tanjung Jati B masing-masing memiliki tegangan output sebesar 22,8 KV, tegangan tersebut kemudian di naikan menjadi 500KV dengan menggunakan generator transformer mengikuti kebutuhan tegangan jaringan listrik Jawa-Bali. Selain output generator menyuplai ke jaringan, keluaran generator sebesar 22,8 kV juga akan di turunkan tegangannya menjadi 10 kV, 3 kV dan 380 V untuk menyuplai daya untuk keperluan pemakaian sendiri atau yang biasa disebut dengan *auxiliary power*.

### 2.2.4 Fan

#### 2.2.4.1 Karakteristik Sistem dan Kurva Fan

Pada berbagai sistem fan, resistansi timbul terhadap aliran udara (tekanan) jika aliran udara meningkat, resistansi ini bervariasi dengan kuadrat aliran. Tekanan yang diperlukan oleh sistem pada suatu kisaran aliran dapat ditentukan dan *system curve* (SC) dapat dikembangkan, sebagaimana yang di perhatikan dalam Gambar 2.5[24],



Gambar 2.5 Kurva Kinerja Fan[24]

Kurva sistem pada Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik kinerja *fan*, dijelaskan sebagai berikut,

1. Titik A merupakan titik operasi *fan* berdasarkan spesifikasi yang ditentukan oleh pabrik pembuatnya, dengan kecepatan yang telah ditentukan, *air flow* (Q1) ditentukan dan *Pressure* (P1) ditentukan.
2. Titik B merupakan titik *damper*, dimana pengaturan *air flow* dilakukan dengan menggunakan *damper*, ketika *damper* menutup dengan persentasi tertentu maka *air flow* berkurang (Q1 menuju Q2) dan diikuti oleh kenaikan *pressure* (P1 menuju P2).
3. Titik C merupakan titik VFD, dimana pengaturan *air flow* dilakukan dengan menggunakan VFD sehingga *air flow* berkurang (Q1 menuju Q3) dan diikuti oleh penurunan *pressure* (P1 menuju P3)

#### 2.2.4.2 Hubungan antara Kecepatan *Fan*, Laju Udara, Tekanan dan Daya

*Fan* yang terkopel dengan motor beroperasi dengan kecepatan, laju aliran udara (*flow*), tekanan dan daya yang saling mempengaruhi satu sama lain. Perubahan kecepatan *fan* tersebut akan memprediksi perubahan laju aliran udara (*flow*), kenaikan tekanan dan daya yang diperlukan untuk mengoperasikan *fan* tersebut. Prediksi nilai dalam prosentase tersebut ditunjukkan dalam Tabel 2.1,

**Tabel 2.1** Prediksi Prosentase Kecepatan, Laju Udara, Tekanan dan Daya[25]

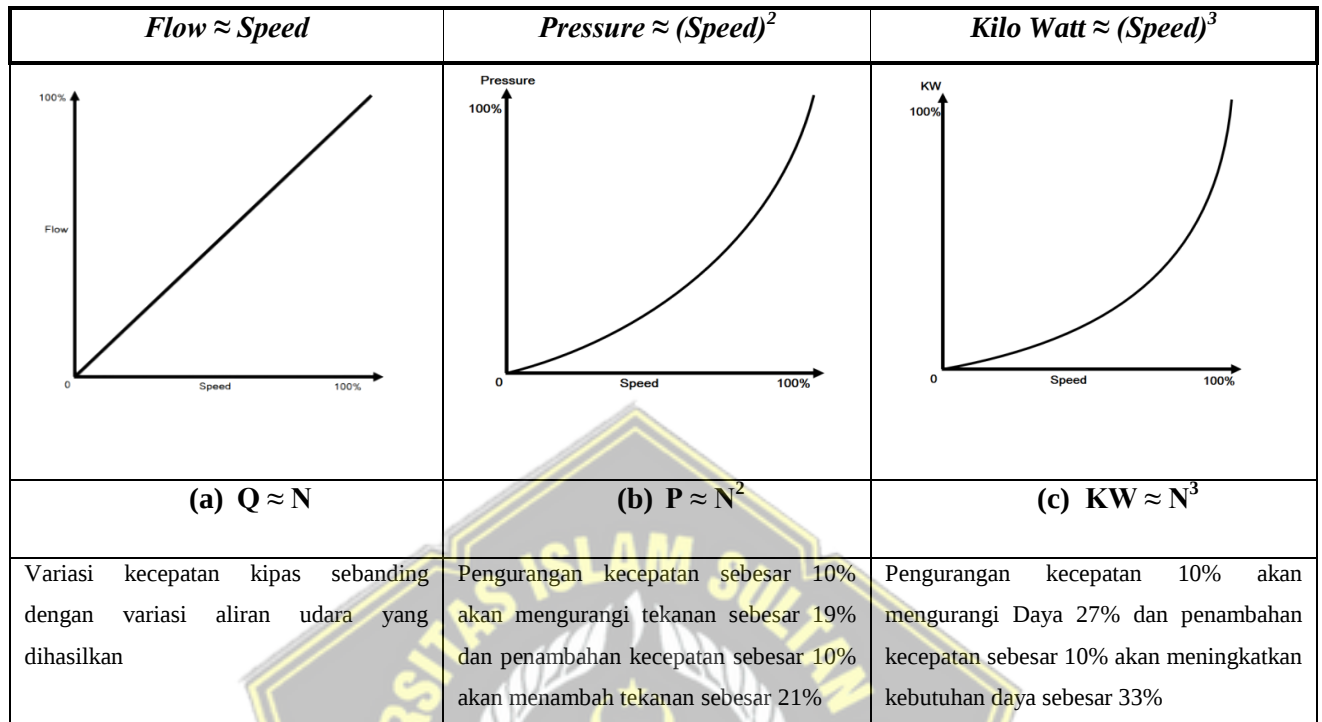
| Kecepatan<br>(N) | Laju udara<br>(Q) | Tekanan<br>(P) | Daya dengan<br>Inverter (KW) |
|------------------|-------------------|----------------|------------------------------|
| 100%             | 100%              | 100.0%         | 105.3%                       |
| 90%              | 90%               | 81.0%          | 76.6%                        |
| 80%              | 80%               | 64.0%          | 53.9%                        |
| 70%              | 70%               | 49.0%          | 36.1%                        |
| 60%              | 60%               | 36.0%          | 22.7%                        |
| 50%              | 50%               | 25.0%          | 13.2%                        |
| 40%              | 40%               | 16.0%          | 6.7%                         |
| 30%              | 30%               | 9.0%           | 2.8%                         |

Karakteristik beban dari *fan* dan motor tersebut memberikan hubungan sebagai berikut [25]:

1. Kecepatan sebanding dengan Laju aliran udara,  $N \approx Q$
2. Tekanan sebanding dengan kecepatan kuadrat,  $P \approx N^2$

3. Daya motor sebanding dengan kecepatan pangkat tiga, KW (Power)  $\approx N^3$

Hubungan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.6,



**Gambar 2.6** Kurva Hubungan antara Kecepatan, Laju Udara, Tekanan dan Daya[26]

Kolom pertama (a) menjelaskan hubungan antara kecepatan dan laju udara. Apabila kecepatan udara bertambah 10% maka laju udara juga akan bertambah 10%. Sedangkan apabila kecepatan dikurangi 10% maka laju udara akan berkurang 19%. Kolom kedua (b) menjelaskan hubungan antara kecepatan fan dan tekanan udara. Apabila kecepatan fan ditingkatkan 10% maka tekanannya akan meningkat 21%. Sebaliknya apabila kecepatan fan dikurangi 10% maka tekanan udaranya akan berkurang 19%. Kolom ketiga (c) menjelaskan hubungan antara kecepatan fan dengan daya motor. Apabila kecepatan fan ditingkatkan 10% maka daya motor akan membutuhkan 33% dari daya awal. Sedangkan bila kecepatan fan dikurangi 10% maka motor akan kehilangan daya motor sebesar 27% dari daya awal.

Secara umum *fan* dan motor merupakan perangkat yang mudah dikendalikan dengan menerapkan sistem hemat energi. Ketika sebuah *fan* dikendalikan motor yang berkecepatan tetap (*fix speed motor*) seringkali menghasilkan laju udara yang berlebihan daripada yang dibutuhkan, namun jika

kecepatan motor listrik tersebut dikendalikan *VFD (variable frequency drive)*, ia dapat mereduksi konsumsi tenaga listrik berbanding dengan penurunan kecepatan.

#### 2.2.4.3 Fan dalam System *Draft Fan*

Fan terdiri dari jenis, yaitu *Force Draft Fan (FDF)* dan *Primary Air Fan (PAF)* masing-masing berjumlah dua (A dan B) pada setiap unit 3 dan 4, jadi total keseluruhan ada 4 buah FDF dan 4 buah PAF. Data yang diperoleh berupa data elektrik dan data mekanis, kedua data ini diperoleh dari sensor-sensor yang membaca setiap perilaku alat dan terintegrasi dengan DCS (Distribute Control System). Efisiensi fan dihitung berdasarkan daya yang keluar terhadap daya yang masuk. Daya yang masuk berupa listrik yang terdiri dari tegangan (V), arus (I) dan factor daya (cos phi). Sedangkan daya yang keluar dihitung berdasarkan kenaikan tekanan yang dihasilkan oleh fan dan debit udara yang dipindahkan (Q), persamaan (2.1)[1],

$$\eta = \frac{dP \cdot Q}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.1)$$

$\eta$  = Efisiensi Fan

dP = Kenaikan Tekanan

Q = Debit Udara

V = Tegangan listrik

I = Kuat Arus

Cos phi = Faktor daya motor

Efisiensi motor diperoleh berdasarkan kurva persentasi pembebanan terhadap efisiensi pada motor tersebut. Untuk mendapatkan nilai persentasi pembebanan dilakukan dengan menghitung menggunakan persamaan (2.2) [1]:

$$\% Load = \frac{\text{Daya Terukur}}{\{\text{Rate daya x efisiensi}\}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

sementara kerugian daya motor dihitung dengan persamaan (2.3) [1] :

$$Losses = (\text{rate daya x efisiensi motor}) - \text{daya terukur} \dots \dots \dots (2.3)$$

#### 2.2.4.4 Primary Air Fan (PAF)

PAF berfungsi mensuplai udara yang meliputi udara panas dan dingin ke pulverizer. Udara panas yang dialirkan PAF akan menurunkan kadar kelembaban pada batu-bara sehingga batu-bara lebih mudah terbakar. Sensor *flowrate* tidak terpasang disetiap PAF, namun total *flowrate* dari ke dua fan masih dapat diketahui dengan menggunakan sensor *flowrate* yang terpasang pada *primary air inlet*, yaitu saluran udara masuk ke *pulverizer*. Karena kedua nilai daya input dan tekanan mendekati, masing-masing *massflow* PAF A dan PAF B diasumsikan sama, persamaan (2.4) [1]:

$$(1/2)m_{1RY \text{ inlet}} = m_{PAF A} = m_{PAF B} \dots\dots\dots(2.4)$$

Inlet PAF terhubung dari percabangan inlet AH2RY, sehingga tekanan statik keduanya diasumsikan sama, persamaan (2.5):

$$P_{in \text{ PAF}} = P_{in \text{ AH2RY}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Spesifikasi PAF ditunjukkan dalam Tabel 2.2 [21];

**Tabel 2.2** Spesifikasi Motor PAF[21]

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Manufacture         | TATUNG        |
| Applicable standart | IEC 60034     |
| Design temperature  | 40°C          |
| Rotor type          | Squirrel Cage |
| Insulating class    | F             |
| Power               | 2110 Kw       |
| Frequency           | 50 Hz         |
| Rate Voltage        | 10000V        |
| Phase               | 3             |
| Rate Speed          | 1485 rpm      |
| Rate Current        | 145 A         |
| Starting Current    | 670 %         |
| Power Factor        | 0.88          |

#### 2.2.4.5 Force Draft Fan (FDF)

FDF memiliki beberapa fungsi yaitu penyuplai udara sekunder yang dibutuhkan oleh boiler melalui air heater dengan mengambil udara dari atmosfer kemudian disalurkan ke dalam system, mensirkulasi udara untuk menghasilkan transfer panas yang lebih baik dan menghilangkan residu pembakaran. Berdasarkan spesifikasi Power Output yang digunakan sebesar 2980 kW dapat menghantarkan aliran fluida sebesar  $400\text{m}^3/\text{s}$  dengan selisih tekanan sebesar 49 mBarG. Sedangkan Berdasarkan hasil pengolahan data dengan beban 100% ECR (Economic Continous Rate) sebesar 1899kW yang bekerja memindahkan volume udara sebesar  $248.55\text{ m}^3/\text{s}$  pada tekanan 2.67 kPa dengan Efisiensi sebesar 35%. Besaran nilai pengukuran Tekanan, Suhu dan aliran pada unit4 dianggap sama dengan unit 3 karena memiliki sistem dan data spesifikasi motor yang sama. Sensor Aliran tidak terpasang pada setiap FDFan, namun total Aliran dari kedua fan dapat diketahui dari data *Total Air* yang dibagi dua berdasarkan informasi DCS. Spesifikasi motor dalam sistem FDF ditunjukkan dalam Tabel 2.3[23] :

**Tabel 2.3** Spesifikasi Motor FDF[23]

| <b>Manufactur</b>   | <b>TATUNG</b> |
|---------------------|---------------|
| Applicable standart | IEC 60034     |
| Design temperature  | 40°C          |
| Rotor type          | Squirrel Cage |
| Insulating class    | F             |
| Power               | 2980 kW       |
| Frequency           | 50 Hz         |
| Rate Voltage        | 10000V        |
| Phase               | 3             |
| Rate Speed          | 740 rpm       |
| Rate Current        | 211 A         |
| Starting Current    | 670 %         |
| Power Factor        | 0.85          |

### 2.3 Prinsip Kerja *Variable Frequency Drive* (VFD)

Pada umumnya *variabel Frequency drive* atau bisa disebut dengan inverter adalah peralatan yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor. Penggunaan VFD bisa diaplikasikan terhadap motor AC maupun DC. Inverter menggunakan frekuensi tegangan masuk untuk mengatur kecepatan putaran motor. Jadi dengan memainkan perubahan frekuensi tegangan yang digunakan dalam motor, maka kecepatan putaran motor akan berubah. Kecepatan putaran medan stator dapat di ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.6) [3]:

$$N_s = 120 \cdot f / p \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan putaran medan stator

120 = Konstanta

$f$  = Frekuensi ( Hz )

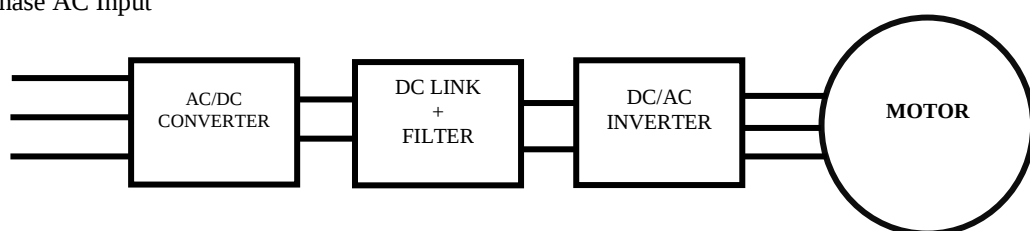
$P$  = Jumlah Kutub Motor ( Pole )

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (*converter AC-DC*) dengan menggunakan penyearah (*rectifier dioda*) atau menggunakan penyearah terkendali (*thyristor rectifier*). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka tegangan tersebut diratakan dengan menggunakan tendon kapasitor. Kemudian tegangan DC tersebut diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM). Dengan teknik PWM, amplitudo dan frekuensi keluaran dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Selain itu teknik PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal. Pada umumnya VFD digunakan untuk hal-hal berikut ini:

1. Mengatur dan mengendalikan kecepatan motor.
2. Menyesuaikan torque motor.
3. Menghemat energi dan meningkatkan efisiensi.

Prinsip kerja VFD digambarkan dalam Gambar 2.7[8],

3 Phase AC Input



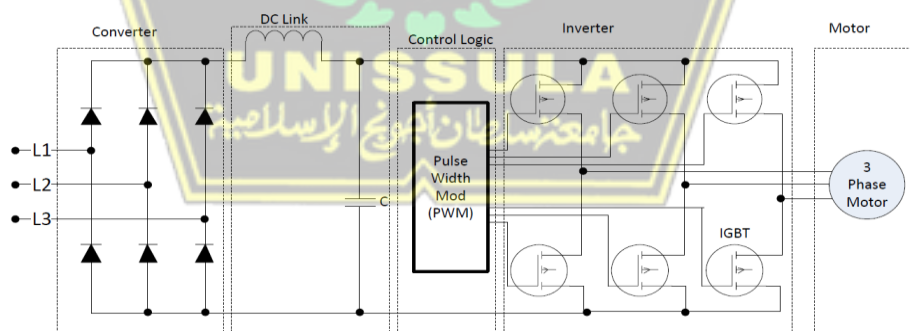
**Gambar 2.7** Prinsip Kerja VFD[8]

Prinsip kerja dari *variabel speed drive* yang sederhana adalah sebagai berikut :

1. Tegangan masuk dari *Station Board* 10 KV, frequency 50 Hz dengan nilai konstan. Kemudian tegangan dan frekuensi tersebut dialirkan ke *board Rectifier* / penyearah DC, dan ditampung ke kapasitor bank.
2. Untuk meratakan tegangan DC, maka tegangan dimasukkan ke DC link. Komponen yang terdapat pada DC link berupa kapasitor atau induktor.
3. Tegangan DC kemudian diumpankan ke *board inverter* untuk dijadikan AC kembali dengan frekuensi sesuai kebutuhan. Jadi dari DC ke AC yang komponen utamanya adalah Semikonduktor aktif seperti *IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)*. Dengan menggunakan frekuensi *carrier* (bisa sampai 20 kHz), tegangan DC dicacah dan dimodulasi sehingga keluar tegangan dan frekuensisesuai dengan pengaturan yang diinginkan.

### 2.3.1 Pulse Width Modulation (PWM)

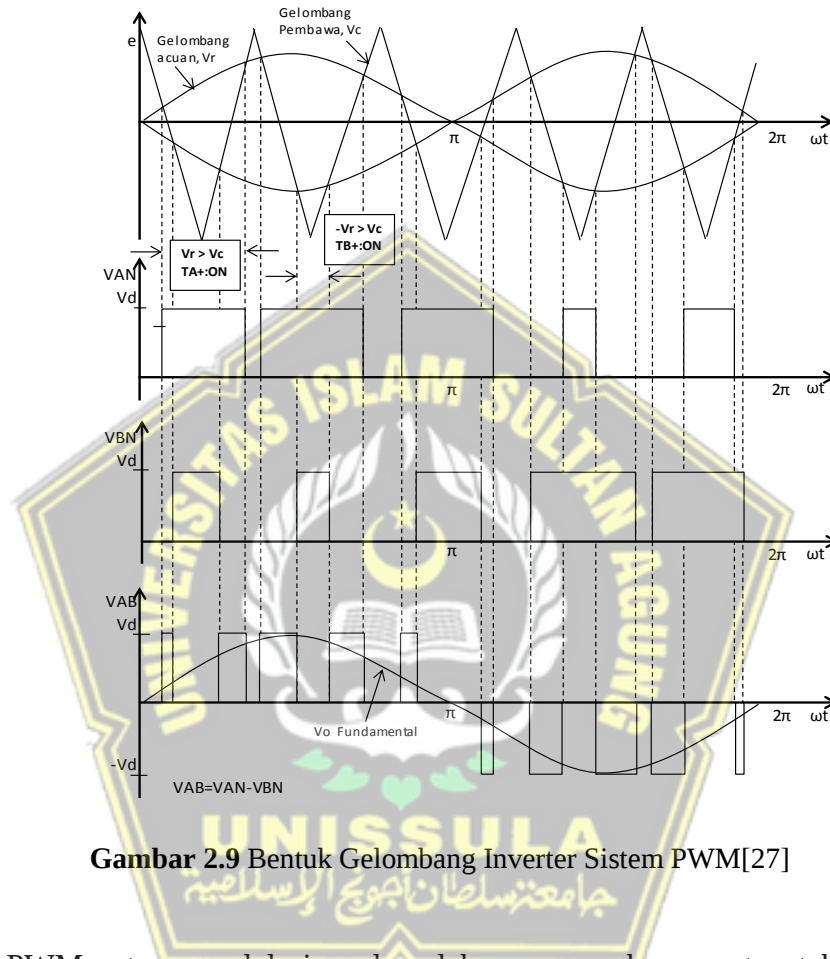
*Drive* yang menggunakan sistem PWM lebih efisien dan memberikan tingkat performa yang lebih tinggi. Sistem PWM terdiri atas rangkaian *Converter*, *DC link*, *control logic*, dan sebuah *inverter*. *Converter* yang digunakan adalah tipe tidak terkontrol (diode penyearah) namun juga ada yang menggunakan setengah terkontrol atau kontrol penuh. Rangkaian PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.8[3],



**Gambar 2.8** PWM Drive Basic Schematic[3]

Bagian *inverter*, rangkaian PWM di atas menggunakan komponen elektronika daya “*Insulated Gate Bipolar Transistor*” (*IGBT*). IGBT memiliki kemampuan *switching* yang sangat tinggi hingga ribuan kali perdetik dimana dapat aktif kurang dari 400 nano detik dan mati dalam waktu 500 nano detik. IGBT dibangun oleh sebuah *gate*, *colector*, dan *emiter*. Saat *gate* diberikan tegangan positif (+15VDC), arus akan mengalir melalui *colector* dan *emiter*.

IGBT akan mati saat tegangan positif dihilangkan dari *gate*. Selama kondisi mati, tegangan *gate* IGBT akan ditahan pada nilai tegangan negatif yang kecil sekitar -15V VDC untuk mencegah agar tidak hidup dengan sendirinya. Perilaku IGBT ini mirip dengan saklar yang bekerja secara *on* dan *off* untuk menghantarkan atau memutus arus listrik. Bentuk gelombang dari sinyal *reference* dan sinyal *carrier* ditunjukkan dalam Gambar 2.9 [27];



**Gambar 2.9** Bentuk Gelombang Inverter Sistem PWM[27]

PWM atau modulasi pulsa lebar merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal *reference* ( $V_r$ ) dengan sinyal *carrier* ( $V_c$ ), sinyal *carrier* yang biasa digunakan berupa gelombang segitiga ataupun gelombang gergaji. Prinsip dasar dari teknik PWM adalah ketika besarnya amplitudo sinyal referensi ( $V_r$ ) lebih besar dari amplitudo sinyal *carrier* ( $V_c$ ) maka dihasilkan sinyal *high* atau *on* dan jika besar amplitudo sinyal *reference* ( $V_r$ ) lebih kecil dari amplitudo sinyal *carrier* ( $V_c$ ) maka dihasilkan sinyal *low* atau *off*.

$T_{on}$  pada Gambar 2.9 menunjukkan lama waktu tegangan keluaran berada di posisi *high* atau *on*. Penjumlahan lama waktu dari  $T_{on}$  dengan  $T_{off}$  disebut  $T_{total}$  yang biasa dikenal dengan satu periode gelombang, sesuai dengan persamaan (2.7),

$$T_{\text{total}} = T_{\text{on}} + T_{\text{off}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dari besarnya  $T_{\text{on}}$  dan  $T_{\text{off}}$  ini maka dapat ditentukan besarnya *duty cycle* yaitu perbandingan antara waktu ketika gelombang berada dalam keadaan *on* dibagi dengan total waktu antara gelombang dalam keadaan *on* dan gelombang dalam keadaan *off* sehingga *duty cycle* dapat ditulis sebagaimana persamaan (2.8),

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

*Duty cycle* inilah yang akan menentukan waktu kerja pada IGBT sehingga akan menjadi pulsa yang mengontrol keadaan *on* dan *off* sebgaiman saklar bekerja. Oleh karena itu prinsip kerja dari PWM untuk mengendalikan IGBT adalah ketika  $V_{\text{control}} / V_{\text{reff}}$  memiliki amplitudo lebih besar dari gelombang segitiga maka PWM akan mengeluarkan kondisi *high* dan IGBT dalam keadaan menghantar, sebaliknya ketika  $V_{\text{control}} / V_{\text{reff}}$  memiliki amplitudo lebih kecil dari gelombang segitiga maka PWM akan mengeluarkan kondisi *low* yang menyebabkan IGBT dalam keadaan *off* atau memutus arus.

## 2.3.2 Pengukuran VFD [2]

### 2.3.2.1 Pengukuran Daya

Pengukuran daya VFD dihitung berdasarkan Tegangan (V) dan Arus (A) yang nilainya berubah tergantung pada perubahan beban motor, persamaan (2.9) [2];

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi [2] \dots\dots\dots (2.9)$$

P : Daya listrik pada beban motor (W)

V: Tegangan pada beban motor (V)

I : Arus pada beban motor (A)

Cos phi: Power Factor dari beban motor

### 2.3.2.2 Biaya Daya Listrik

Biaya daya listrik dihitung berdasarkan jumlah daya yang digunakan dikalikan durasi jam dikalikan harga per KWh, persamaan (2.10) [25];

Biaya listrik =  $P \times \text{Run hours} \times \text{harga per KWh}$  [25].....(2.10)

$P$  : Daya (W)

*Run hours*: Durasi pengoperasian VFD dalam jam

Harga per KWh: Ketentuan harga listrik per KWh

### 2.3.2.3 Peluang Penghematan

Peluang penghematan dihitung berdasarkan perbedaan daya antara perangkat yang terpasang dengan perangkat yang disimulasikan, persamaan (2.11) [1];

Peluang Penghematan = Daya aktual – Daya Simulasi [1].....(2.11)

Daya aktual: Total daya FDF dan PAF selama 1 tahun

Daya Simulasi: Total daya FDF dan PAF dalam simulasi selama 1 tahun.

### 2.3.2.4 Waktu Kembali Modal

Waktu kembali modal merupakan perbandingan dari biaya investasi dengan nilai peluang penghematan, persamaan (2.12) [1],

Waktu kembali modal = biaya investasi / nilai peluang penghematan.....(2.12)

Biaya investasi: biaya instalasi VFD

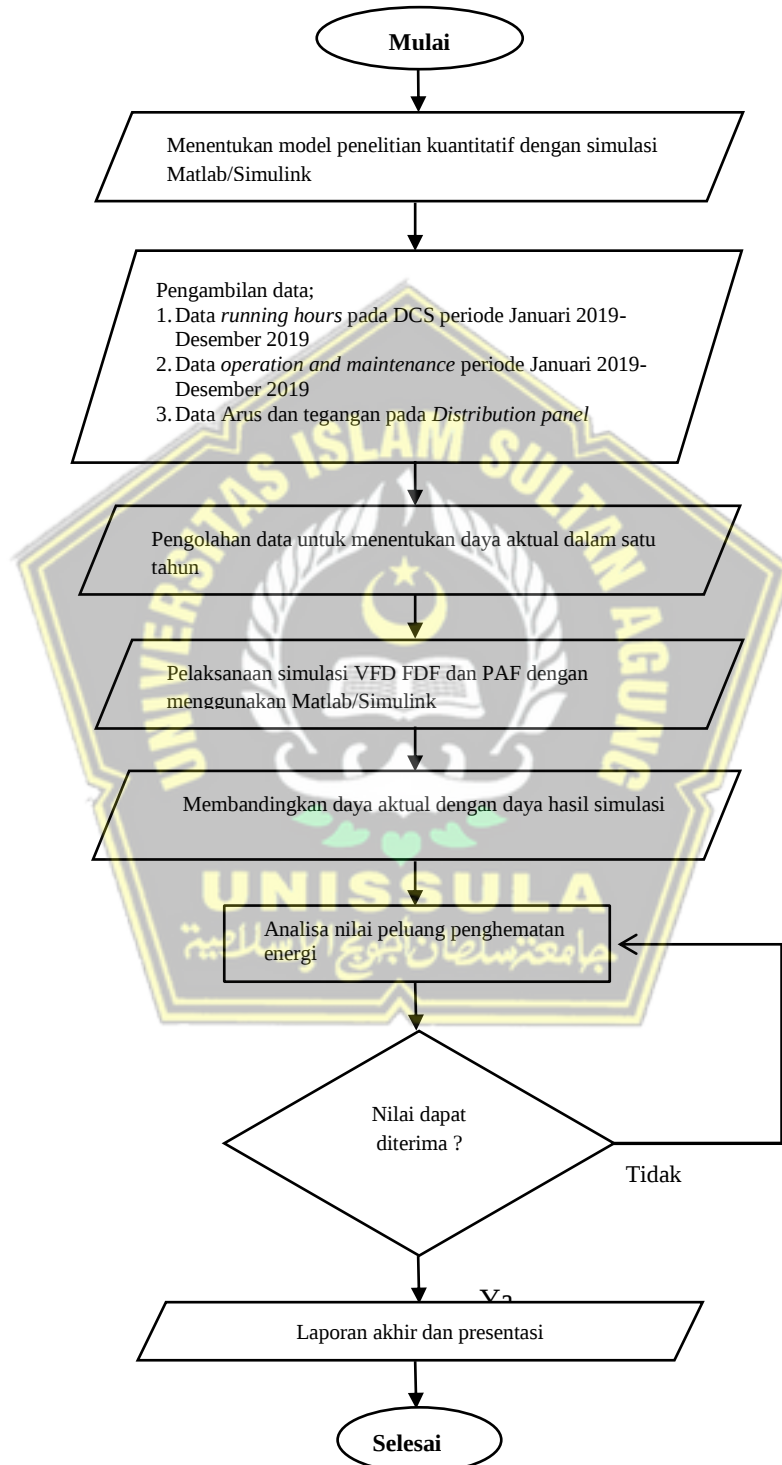
Nilai peluang penghematan: nilai penghematan VFD dalam 1 tahun

### BAB III

#### METODE PENELITIAN

##### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian digambarkan dalam *flowchart* Gambar 3.1,

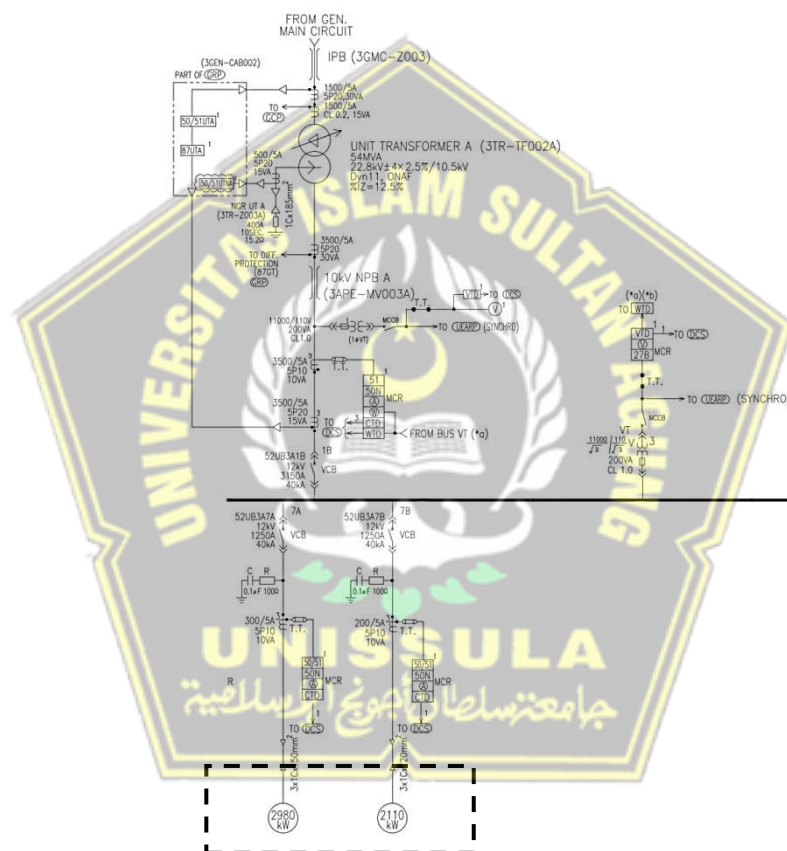


**Gambar 3.1** Flow Chart Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dari awal perumusan masalah hingga pengambilan kesimpulan digambarkan dalam *flow chart* agar lebih mudah dipahami. Karena banyak tahapan yang harus dilakukan maka dalam *flow chart* tersebut hanya menggambarkan secara umum dengan bagian-bagian pokok penelitian. Masing-masing pokok tersebut berisi sub - sub bagian yang secara detail akan dibahas dalam bab penelitian berikutnya.

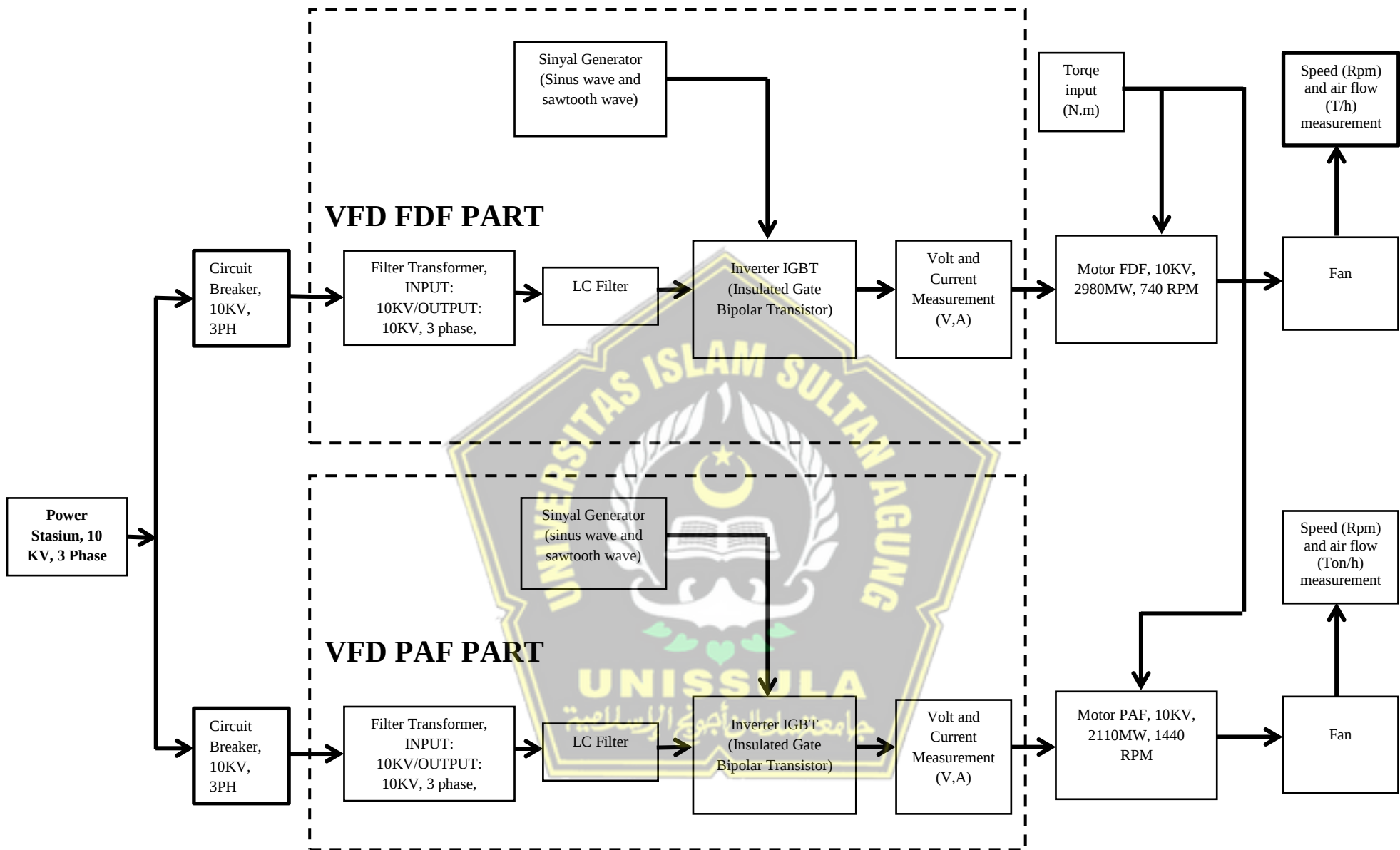
### 3.2 Model Simulasi VFD

*Single line diagram* dalam sistem kelistrikan motor FDF dan PAF ditunjukkan dalam Gambar 3.2[28],



**Gambar 3.2** *Single Line Diagram* Motor FDF dan PAF[28]

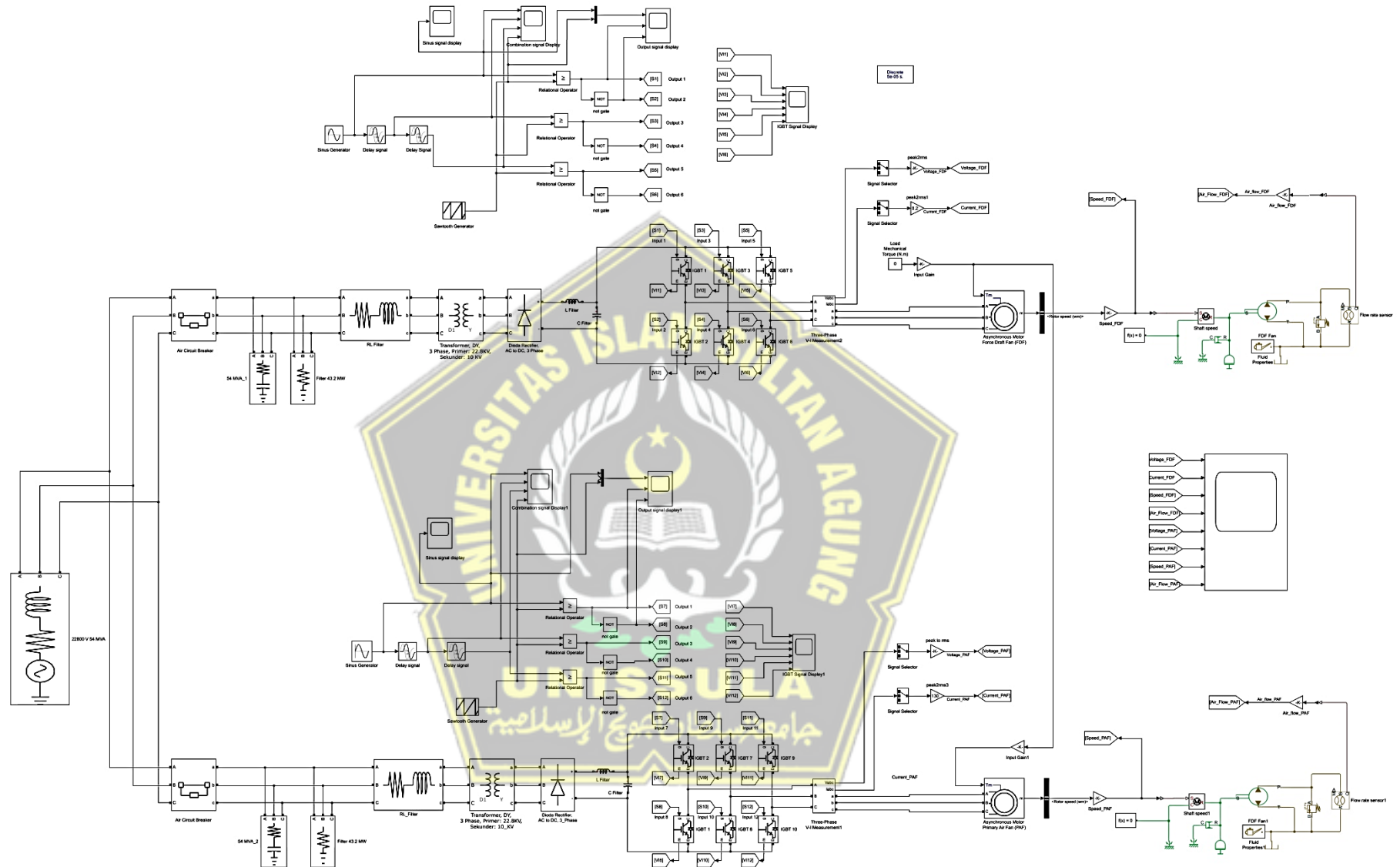
Gambar 3.2 merupakan rangkaian sistem kelistrikan yang mengoperasikan motor FDF dan PAF di PLTU, tegangan 22.8 KV dari Generator mengalir menuju *transformer step down* sehingga tegangan turun menjadi 10 KV, tegangan tersebut dikontrol oleh *Distribute Control System* (DCS) yang mengendalikan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) untuk mengoperasikan beban motor, selanjutnya motor tersebut dikopel dengan *fan* yang berputar untuk memasok udara ke dalam *boiler*. Model simulasi VFD diperlihatkan dalam Gambar 3.3[6], [27], [29]–[31];



Gambar 3.3 Model Simulasi VFD[6], [27], [29]–[31]

Gambar 3.3 menunjukkan model sistem dari rangkaian VFD. Rangkaian terdiri dari 2 buah rangkaian VFD FDF dan VFD PAF yang tersusun dari berbagai jenis blok yang memiliki fungsi masing-masing dengan sumber tegangan yang sama 10 KV. Blok-blok pada gambar tersebut merupakan garis besar dari keseluruhan prinsip kerja VFD yang nantinya dituangkan dalam rangkaian Matlab Simulink.

Prinsip kerja VFD diawali dengan tegangan input 10 KV menuju filter, tegangan 10 KV berasal dari *board station*, filter berfungsi untuk menapis frekuensi harmonisa agar tidak mengganggu tegangan pada proses berikutnya. Filter terdiri dari kapasitor, induktan dan resistor yang dirangkai dengan frekuensi tertentu untuk membuang frekuensi harmonisa menuju *ground*. Tegangan yang bebas dari harmonisa tersebut dilanjutkan menuju *Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)*, IGBT tersebut diatur oleh pulsa yang dihasilkan oleh pulsa generator *Pulse Width Modulation (PWM)* dengan mengatur frekuensi input. Pulsa input IGBT merupakan hasil komparator antara gelombang sinus sebagai referensi dan gelombang gergaji sebagai *carrier*. Tegangan *output* IGBT akan menuju blok pengukuran untuk mengukur besaran parameter tegangan dan arus, selanjutnya tegangan dari IGBT tersebut akan mengendalikan beban yang berupa motor FDF dan PAF. Kecepatan motor tersebut akan diatur sesuai dengan frekuensi *input*, jika frekuensi tinggi maka kecepatan motor akan meningkat, jika frekuensi rendah maka kecepatan akan menurun. Pada tahap selanjutnya kedua motor tersebut di kopel dengan masing-masing *centrifugal fan*. *Fan* tersebut akan berputar untuk menarik angin dari udara bebas selanjutnya dihantarkan menuju *boiler* dengan kecepatan dan besaran tertentu sesuai dengan kebutuhan. Hasil akhir pengontrolan adalah debit udara yang mengalir ke dalam *boiler* dapat diatur sesuai dengan frekuensi *input*, jika frekuensi tinggi maka debit udara akan meningkat dan jika frekuensi rendah maka debit udara akan menurun. Jumlah debit tergantung dari kebutuhan pembakaran dalam boiler. Jika kalori batu-bara yang dibutuhkan rendah maka suplai udara rendah dan jika kalori yang dibutuhkan tinggi maka kebutuhan udara juga tinggi. Rangkaian VFD Matlab Simulink ditunjukkan pada Gambar 3.4[6], [27], [31]–[34],



Gambar 3.4 Rangkaian VFD Matlab Simulink[6], [27], [31]–[34]

### 3.3 Pengambilan Data

Data yang diambil terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Sumber data berasal *DCS (Distribute Control System)*, *Manual book*, *Data Commissioning*, data operasi dan data *meintenance*, Daftar data yang diambil ditunjukkan dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2:

**Tabel 3.1** Daftar Data Primer

| No | Data Primer                                | Nilai           | Sumber data        |
|----|--------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 1  | <i>Trending running hours</i> FDF dan PAF  | 7286 Jam/tahun  | DCS                |
| 2  | Jumlah <i>air flowrate</i> dalam FDF       | 967,5 Ton/hour  | DCS                |
| 3  | Jumlah <i>air flowrate</i> dalam PAF       | 242,85 Ton/hour | DCS                |
| 4  | Besar bukaan <i>dampers</i> pada inlet FDF | 59.6 %          | DCS                |
| 5  | Besar bukaan <i>dampers</i> pada inlet PAF | 43.7 %          | DCS                |
| 6  | Arus motor FDF                             | 145 A           | DCS                |
| 7  | Arus motor PAF                             | 94 A            | DCS                |
| 8  | Tegangan motor FDF dan PAF                 | 9889 V          | Distribution Panel |
| 9  | Daya motor FDF                             | 2023 KW         | Distribution Panel |
| 10 | Daya motor PAF                             | 1452 KW         | Distribution Panel |

**Tabel 3.2** Daftar Data Sekunder

| No | Data Sekunder                                         | Sumber Data                      |
|----|-------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1  | <i>Lay Out Drawing</i> FDF dan PAF                    | Manual book                      |
| 2  | Data historis <i>running hours</i> FDF dan PAF        | Data <i>Coordination meeting</i> |
| 3  | Data historis <i>maintenance</i> dan <i>operation</i> | Data <i>Coordination meeting</i> |
| 4  | Spesifikasi teknis dari FDF dan PAF                   | <i>Manual book</i>               |
| 5  | Data komisioning dan <i>performace test</i>           | <i>Performance report</i>        |

### 3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan melihat terlebih dahulu jumlah total *air flow rate* yang dihasilkan dalam sistem FDF dan PAF, data tersebut dapat dilihat

secara langsung pada *Distribute Control System* (DCS). Langkah berikutnya melihat jumlah total *air flow rate* yang dihasilkan oleh sistem FDF dan PAF menurut data spesifikasi. Kedua data tersebut dibandingkan kemudian diketahui selisih yang menunjukkan bahwa jumlah *air flow rate* yang digunakan lebih kecil dari pada data spesifikasi. Ketidak-optimalan jumlah *air flow rate* ini menyebabkan kerugian. Jumlah kerugian *air flow rate* tersebut mengakibatkan kerugian dalam daya motor FDF dan PAF.

### 3.5 Analisa Peluang Penghematan Energi Listrik

Kerugian yang terjadi dalam sistem FDF dan PAF dapat diatasi dengan mengubah pengaturan *air flow rate* yang menggunakan *damper* dengan menggunakan VFD. Penggunaan VFD akan menurunkan daya listrik dalam pengoperasian motor. Penurunan daya ini dihitung sebagai peluang penghematan. Penghitungan peluang penghematan dilakukan dengan membandingkan daya yang digunakan secara aktual terhadap daya yang digunakan dalam simulasi VFD dalam jangka waktu satu tahun. Parameter yang dianalisa antara lain :

1. Durasi *running hour* dalam satu tahun
2. Daya total motor FDF dan PAF dalam satu tahun
3. Konsumsi daya motor FDF dan PAF setelah digunakan VFD
4. Jumlah penghematan
5. Waktu kembali modal
6. Efisiensi kerja sistem FDF dan PAF setelah digunakan VFD

### 3.6 Alat dan Bahan

Peralatan penunjang yang digunakan dalam penelitian di uraikan sebagai berikut:

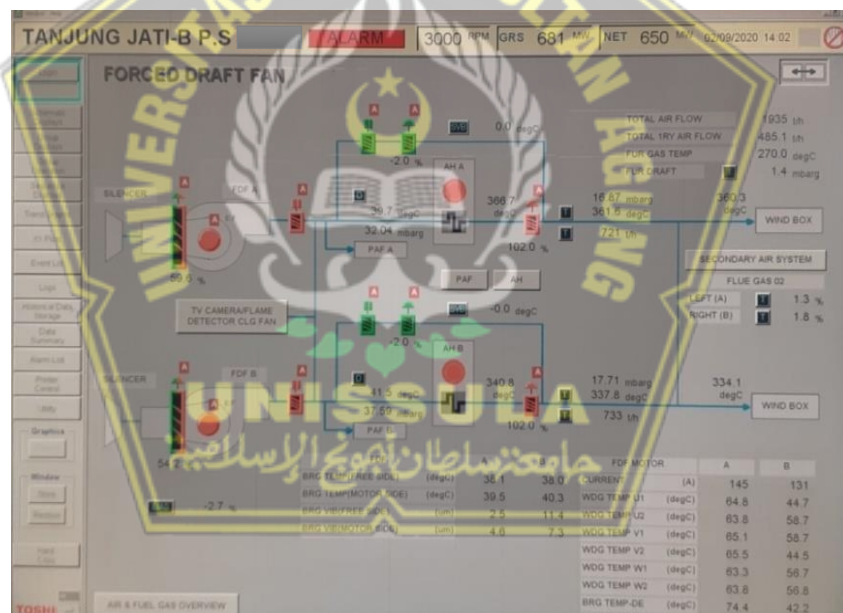
1. Kamera: digunakan untuk mengambil gambar proses pengontrolan sistem yang ada di dalam DCS (*Digital Control System*) milik PLTU Tanjung Jati unit #3&4
2. Software Matlab: digunakan untuk melakukan simulasi pengoperasian VFD

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Daya Aktual

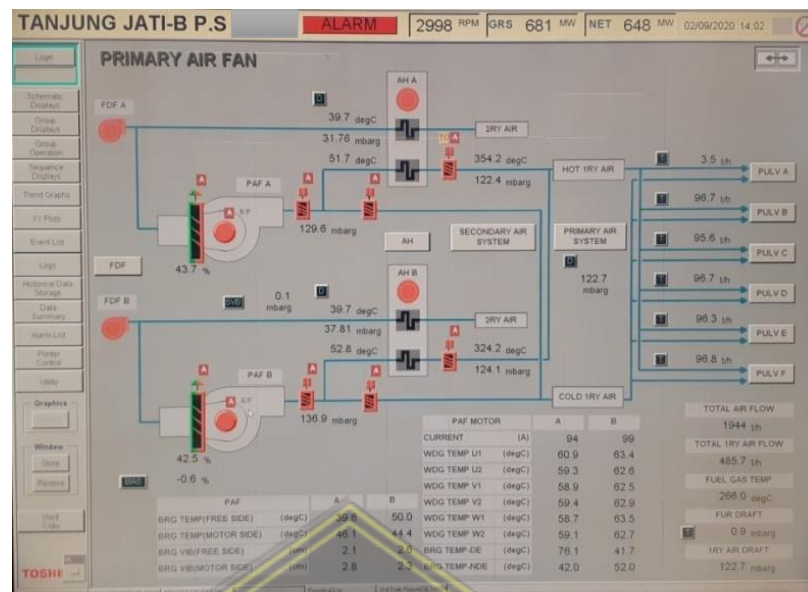
Pengamatan terhadap motor FDF dan PAF dilakukan terhadap DCS dan panel distribusi listrik yang serta data laporan yang dihasilkan setiap minggu. Rentang waktu pengamatan dilakukan dimulai dari bulan Januari 2019 hingga Desember 2019. Sub bagian sistem motor *draft fan* yang diamati adalah unit 3A. Parameter yang diambil adalah besaran Tegangan, Arus, Daya dan *running hours* selama 1 tahun tersebut. Tujuan pengamatan untuk mendapatkan nilai tegangan, arus, *flow rate*, total daya dan *running hours* selama satu tahun. Nilai-nilai yang didapatkan tersebut dijadikan dasar untuk perhitungan daya secara aktual dan menjadi acuan dalam simulasi. Tampilan DCS untuk motor FDF ditunjukkan pada Gambar 4.1,



**Gambar 4.1** Tampilan Motor FDF pada DCS

Gambar 4.1 tersebut menunjukkan skema FDF yang dilengkapi dengan berbagai macam parameter. Parameter *flow rate* / *air flow* menunjukkan nilai 1935 Ton/hour untuk 2 buah motor FDF, sehingga *flow rate* untuk 1 buah motor dapat diperoleh dengan membagi dua nilai tersebut, maka diperoleh nilai 967,5 Ton/hour. Parameter *current* untuk unit 3A sebesar 145 A.

Tampilan DCS untuk motor PAF ditunjukkan pada Gambar 4.2,



**Gambar 4.2** Tampilan Motor PAF pada DCS

Gambar 4.2 menunjukkan parameter *flow rate* / *air flow* nilai 485,7 Ton/hour untuk 2 buah motor PAF, sehingga *flow rate* untuk 1 buah motor dapat diperoleh dengan membagi dua nilai tersebut, yaitu 242,85 Ton/hour. Parameter *current* menunjukkan nilai sebesar 94A.

Pengamatan tegangan motor FDF dan PAF pada panel listrik ditunjukkan pada Gambar 4.3,



**Gambar 4.3** Tampilan Tegangan Motor pada Panel Listrik

Gambar 4.3 menunjukkan tampilan tegangan motor FDF dan PAF dengan nilai 9889 V, kedua sumber tegangan motor tersebut nilainya sama besar karena berasal sumber yang sama, yaitu tegangan menengah 10 KV.

Pengamatan daya motor PAF ditunjukkan pada Gambar 4.4,



**Gambar 4.4** Tampilan Daya Motor PAF pada Panel Listrik

Gambar 4.4 menunjukkan tampilan daya motor PAF dengan nilai 1452KW. Nilai tersebut dapat berfluktuasi sesuai dengan beban yang dialami oleh motor PAF, namun secara rerata nilai tersebut dapat dijadikan sebagai acuan dalam perhitungan.

Pengamatan daya motor FDF ditunjukkan pada Gambar 4.5,



**Gambar 4.5** Tampilan Daya Motor FDF pada Panel Listrik

Gambar 4.5 menunjukkan tampilan daya motor FDF dengan nilai 2023KW. Nilai tersebut berfluktuasi sesuai dengan perubahan beban motor, namun secara rerata menunjukkan kisaran nilai yang sama sehingga dapat menjadi acuan dalam perhitungan.

Berdasarkan pengamatan terhadap DCS dan Panel listrik yang telah dilakukan dalam waktu 1 tahun maka diperoleh data yang secara lengkap

dicantumkan dalam lampiran 1 dan lampiran 2. Sebagai dasar perhitungan maka digunakan rangkuman data tersebut dengan nilai rata-rata sebagaimana dalam Tabel 4.1,

**Tabel 4.1** Rangkuman Data Aktual Motor FDF dan PAF dalam 1 Tahun

| FORCE DRAFT FAN MOTOR (FDF) |             |        |            |                    | PRIMARY AIR FAN MOTOR (PAF) |             |        |            |                    | Running Hours | TOTAL POWER (KWH) |
|-----------------------------|-------------|--------|------------|--------------------|-----------------------------|-------------|--------|------------|--------------------|---------------|-------------------|
| Volt (V)                    | Current (A) | F (HZ) | Power (KW) | Flow rate (Ton/hr) | Volt (V)                    | Current (A) | F (HZ) | Power (KW) | Flow rate (Ton/hr) |               |                   |
| 9955,6                      | 174,22      | 50     | 2052,22    | 967,5              | 9955,6                      | 123,22      | 50     | 1467,63    | 242,85             | 7.286         | 25.645.627,1      |

Berdasarkan rangkuman data di atas maka diperoleh bahwa total daya yang digunakan oleh motor FDF dan PAF sebesar **25.645.627,1 KWh** dengan durasi waktu total **7.286** jam selama satu tahun (lampiran 1 dan lampiran 2). Durasi waktu pengoperasian motor FDF dan PAF dihitung dalam waktu satu tahun (8.760 jam) dikurangi dengan jumlah waktu padam (1.474 jam). Waktu padam meliputi; *derating unit, planned outage, maintenance outage* dan *forced outage*. Untuk menghitung total biaya pengoperasian menggunakan persamaan 2.10, Total KWh dikalikan Harga per KWh (Rp. 1000-harga penjualan listrik dari PLN ke P2B), maka diperoleh,

$$\begin{aligned}\text{Biaya pengoperasian} &= 25.645.627,1 \text{ KWh} \times 1000 \text{ rupiah} \\ &= \mathbf{25.645.627.100} \text{ rupiah}\end{aligned}$$

#### 4.2 Perhitungan Daya dengan Simulasi Matlab/Simulink

Pengoperasian VFD FDF dan PAF disimulasikan dengan menggunakan Matlab/simulink agar mudah dirancang serta mendapatkan hasil yang akurat sesuai dengan perangkat aktual. Nilai-nilai parameter dimasukkan merupakan nilai ideal sehingga hasil yang diperoleh memiliki akurasi yang tinggi. Penghitungan daya dilakukan berdasarkan hasil simulasi yang berupa Sinyal Arus, Tegangan, Kecepatan dan Debit Udara. Nilai yang dihitung adalah nilai efektif yang merupakan nilai beban aktual.

##### 4.2.1 Parameter VFD

Parameter yang dimasukkan dalam komponen simulasi berdasarkan pada nilai beban aktual. Parameter VFD ditunjukkan dalam Tabel 4.2;

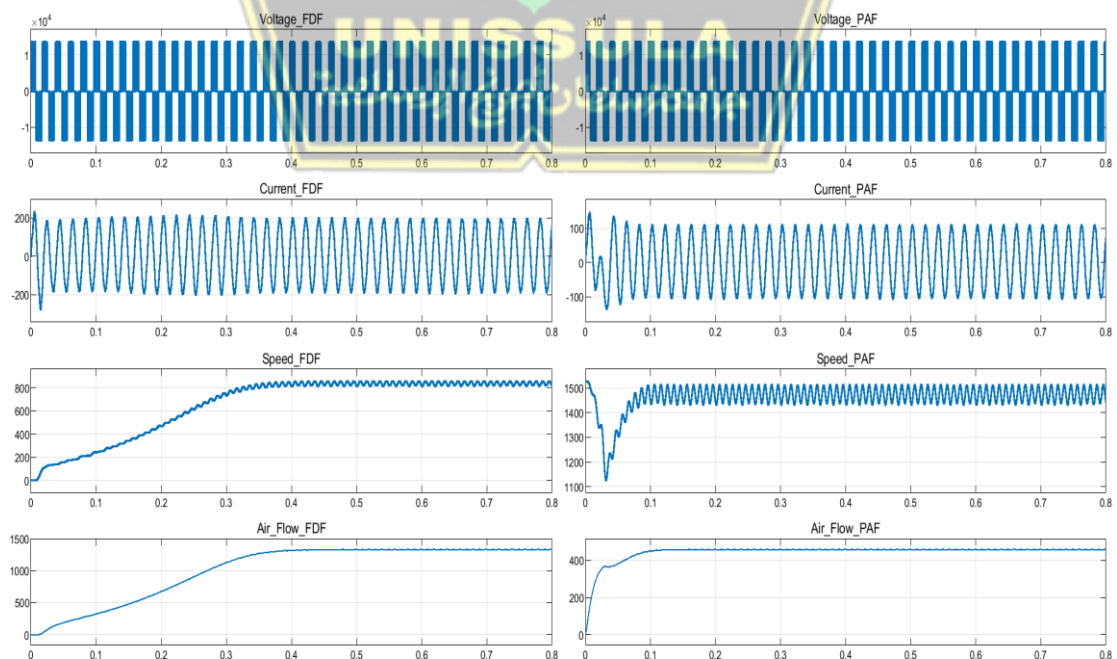
**Table 4.2.** Parameter VFD

| No | Nama Komponen                      | Input Parameter                                                                                          |
|----|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Power Source                       | 3 Phase<br>Configuration: Yg<br>Vrms: 22800<br>Frequency (Hz): 50                                        |
| 2  | Air Circuit Breaker 1, 2           | 3 Phase<br>Breaker resistance: 0.01 Ohm                                                                  |
| 3  | RL Load 1,2                        | Configuration: Y (grounded)<br>Vrms: 22800<br>Frequency: 50<br>Active Power: 54e6                        |
| 4  | R Load 1,2                         | Configuration: Y (grounded)<br>Vrms: 22800<br>Frequency: 50<br>Active Power: 43,2e6                      |
| 5  | RL Filter 1,2                      | Branch type: RL<br>Resistance: 0.1e-3<br>Inductance: 20e8                                                |
| 6  | Transformer 1,2                    | Connection: DY<br>Nominal Power: 6e6<br>Primary Voltage: 22,8e6<br>Scondary Voltage: 10e6                |
| 7  | Dioda Rectifier                    | Bridge Arms: 3<br>Device: IGBT/Dioda                                                                     |
| 8  | L Filter 1,2                       | Inductance: 800 H                                                                                        |
| 9  | C Filter 1,2                       | Capacitcnce: 75000 F                                                                                     |
| 10 | Sinus Generator 1,2                | Sine Type: Time Based<br>Amplitudo: 1<br>Frequency: 2*pi*50<br>(0 – 50 Hz)<br>Phase: 120 rad<br>Phase: 0 |
| 11 | Delay Signal 1,3                   | Time Delay: 0,0067<br>Initial Buffer Size: 1024                                                          |
| 12 | Delay Signal 2,4                   | Time Delay: 0,013<br>Initial Buffer Size: 1024                                                           |
| 13 | Sawtooth Generator 1,2             | Frequency: 1e3<br>Phase: 120                                                                             |
| 14 | Relational Operator<br>1,2,3,4,5,6 | Relational: >=<br>Output Data Type: Boolean                                                              |
| 15 | Not Gate 1,2,3,4,5,6               | Operator: Not<br>Output Data Type: Boolean                                                               |
| 16 | IGBT<br>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 | Internal Resistance: 1e-3<br>Snubber Resistance: 1e5                                                     |
| 17 | V-I Measurement 1,2                | Measurement: Phase to Phase<br>Current Measurement: Yes                                                  |
| 18 | RC Filter 1,2                      | Resistance: 0,5 Ohm<br>Capasitance: 0,1 F                                                                |
| 19 | Asynchronous Motor FDF             | Rotor type: Squirel cage<br>Mechanical input: Torque Tm, Value 0 Nm<br>Nominal Power: 2052220 W          |

|    |                        |                                                                                                                                                                     |
|----|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                        | Voltage: 10000 V<br>Frequency: 50 Hz<br>Pole: 8<br>Slip: 0,0133                                                                                                     |
| 20 | Asynchronous Motor PAF | Rotor type: Squirrel cage<br>Mechanical input: Torque Tm, Value 0 Nm<br>Nominal Power: 1467630 W<br>Voltage: 10000 V<br>Frequency: 50 Hz<br>Pole: 4<br>Slip: 0,0133 |
| 21 | Bus Selector 1,2       | Mechanical Motor Speed (Wm)                                                                                                                                         |
| 22 | Shaft Speed 1,2        | Velocity source, Torque Sensor                                                                                                                                      |
| 23 | FDF Fan                | Displacement: 5e-06 m <sup>3</sup> /rad<br>Nominal Shaft Angular Velocity: 750<br>Nominal Fluid Density: 14000000<br>No Load Torque: 10,9                           |
| 24 | PAF Fan                | Displacement: 5e-06 m <sup>3</sup> /rad<br>Nominal Shaft Angular Velocity: 1446<br>Nominal Fluid Density: 1400<br>No Load Torque: 0                                 |
| 25 | Scope Display          | Sinus Signal Display<br>Combination Signal Display<br>Output Signal Display<br>IGBT Signal Display<br>Result Signal Display                                         |
| 26 | Load Mechanical Torque | 0 - 10,9 Nm                                                                                                                                                         |

#### 4.2.2 Sinyal Keluaran VFD

Sinyal keluaran VFD sebagai hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 4.6;



**Gambar 4.6** Sinyal Keluaran VFD

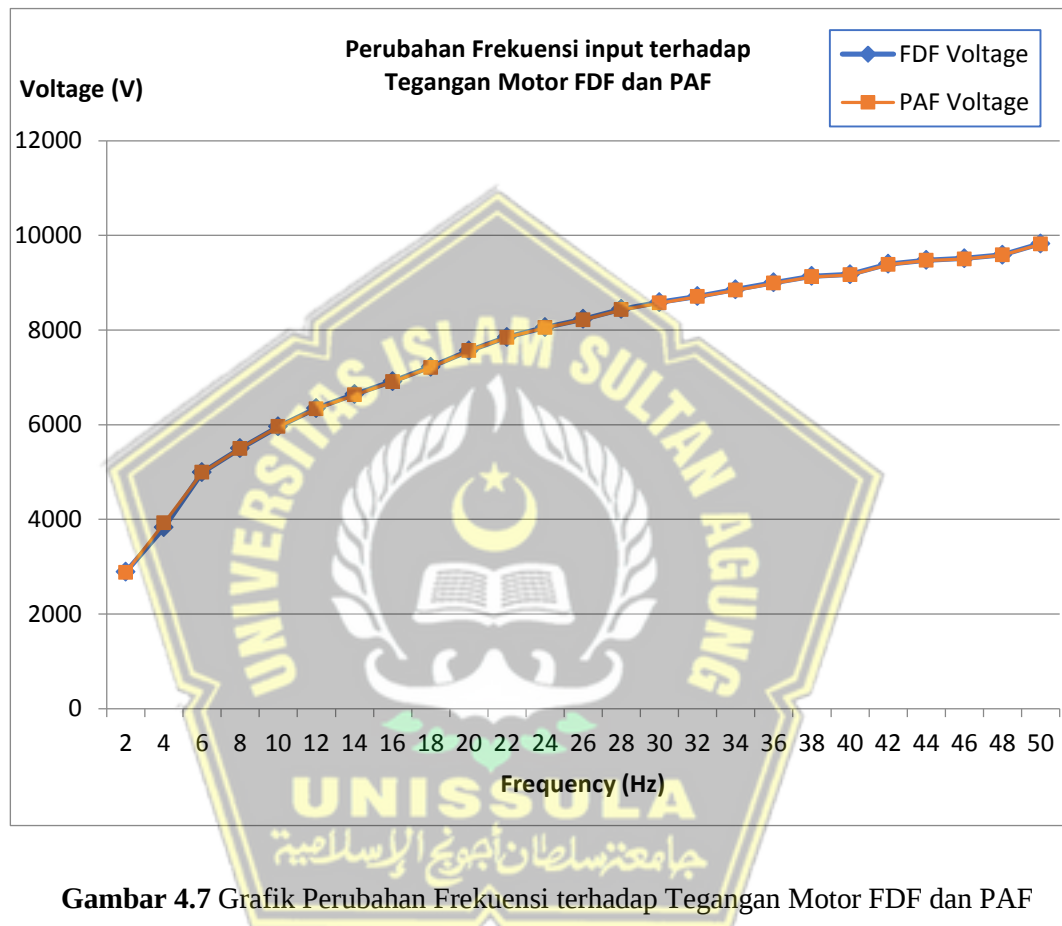
Sinyal simulasi memiliki 4 buah gambar dari output VFD FDF dan 4 buah dari VFD PAF, masing-masing menunjukkan sinyal Voltage, Arus, Kecepatan motor dan Debit aliran udara. Simulasi dilakukan dengan memberi perubahan pada frekuensi input dari 1 Hz hingga 50 Hz. Frekuensi input dilakukan di bagian sinyal generator. Sampel frekuensi yang diberikan dalam simulasi dimulai dari 2 Hz hingga 50 Hz dengan kenaikan 2 Hz secara bertahap. Setiap kenaikan frekuensi dalam sinyal generator akan diikuti oleh kenaikan tegangan motor, kecepatan dan debit aliran udara. Data hasil simulasi tersebut ditunjukkan dalam tabel 4.3,

**Table 4.3** Data Hasil Simulasi

| No | Freq. input | Forced Draft Fan (FDF) |             |             |                   | Primary Air Fan (PAF) |             |             |                   |
|----|-------------|------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------------|
|    |             | Voltage (V)            | Current (A) | Speed (Rpm) | Air Flow (Ton/hr) | Voltage (V)           | Current (A) | Speed (Rpm) | Air Flow (Ton/hr) |
| 1  | 2           | 2892                   | 29          | 45          | 77                | 2880                  | 27          | 295         | 90                |
| 2  | 4           | 3828                   | 51          | 81          | 139               | 3924                  | 41          | 294         | 81                |
| 3  | 6           | 4991                   | 74          | 105         | 181               | 4993                  | 54          | 328         | 94                |
| 4  | 8           | 5500                   | 94          | 147         | 257               | 5497                  | 67          | 378         | 111               |
| 5  | 10          | 5958                   | 110         | 174         | 311               | 5959                  | 77          | 430         | 130               |
| 6  | 12          | 6347                   | 121         | 243         | 440               | 6334                  | 86          | 485         | 149               |
| 7  | 14          | 6641                   | 132         | 280         | 515               | 6629                  | 94          | 537         | 169               |
| 8  | 16          | 6917                   | 137         | 312         | 589               | 6906                  | 98          | 583         | 189               |
| 9  | 18          | 7221                   | 137         | 341         | 664               | 7207                  | 98          | 626         | 210               |
| 10 | 20          | 7562                   | 131         | 370         | 741               | 7561                  | 93          | 668         | 232               |
| 11 | 22          | 7850                   | 123         | 400         | 820               | 7842                  | 87          | 713         | 255               |
| 12 | 24          | 8057                   | 139         | 438         | 897               | 8048                  | 78          | 762         | 279               |
| 13 | 26          | 8232                   | 112         | 469         | 984               | 8216                  | 69          | 814         | 303               |
| 14 | 28          | 8442                   | 100         | 503         | 1061              | 8429                  | 59          | 870         | 328               |
| 15 | 30          | 8586                   | 93          | 534         | 1136              | 8570                  | 51          | 927         | 352               |
| 16 | 32          | 8713                   | 82          | 569         | 1215              | 8706                  | 42          | 984         | 375               |
| 17 | 34          | 8858                   | 70          | 601         | 1293              | 8842                  | 36          | 1041        | 399               |
| 18 | 36          | 9004                   | 59          | 637         | 1378              | 8991                  | 32          | 1099        | 421               |
| 19 | 38          | 9137                   | 58          | 671         | 1458              | 9124                  | 31          | 1154        | 444               |
| 20 | 40          | 9174                   | 63          | 704         | 1531              | 9165                  | 34          | 1208        | 465               |
| 21 | 42          | 9394                   | 73          | 734         | 1597              | 9381                  | 40          | 1259        | 485               |
| 22 | 44          | 9476                   | 84          | 760         | 1657              | 9471                  | 47          | 1305        | 503               |
| 23 | 46          | 9515                   | 95          | 781         | 1702              | 9500                  | 54          | 1344        | 518               |
| 24 | 48          | 9587                   | 107         | 790         | 1722              | 9586                  | 62          | 1368        | 528               |
| 25 | 50          | 9826                   | 118         | 762         | 1661              | 9816                  | 70          | 1363        | 526               |

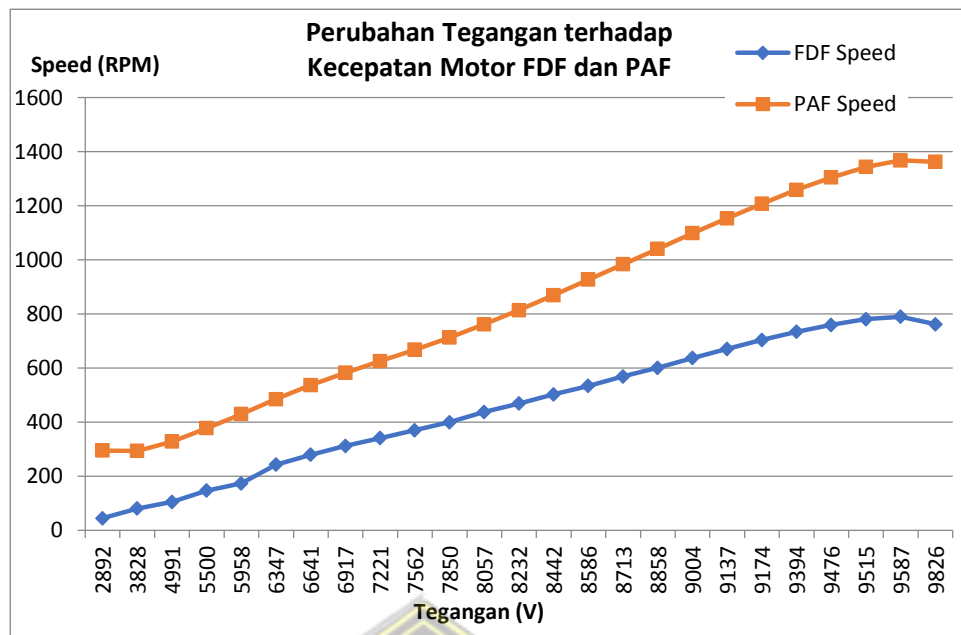
Tabel 4.3 menunjukkan data-data simulasi yang dihasilkan oleh rangkaian VFD dengan matlab simulink. Frekuensi input terendah untuk VFD adalah 2 Hz dan tertinggi 50 Hz, diperoleh tegangan terendah FDF adalah 2892 V dan tertinggi 9826 V, arus berkisar 29 A hingga 139 A, kecepatan motor terendah adalah 45

Rpm dan tertinggi diperoleh 762 Rpm dan debit udara diperoleh terendah 56 Ton/jam hingga tertinggi 1203 Ton/jam. Keluaran PAF diperoleh tegangan terendah sebesar 2880V dan tertinggi adalah 9816 V, arus berkisar 27 A hingga 98 A, kecepatan motor terendah adalah 295 Rpm dan tertinggi 1363 Rpm dan debit udara terendah adalah 71 Ton/jam dan tertinggi diperoleh 418 Ton/jam. Perubahan frekuensi terhadap tegangan motor FDF dan PAF ditunjukkan dalam Gambar 4.7,



**Gambar 4.7** Grafik Perubahan Frekuensi terhadap Tegangan Motor FDF dan PAF

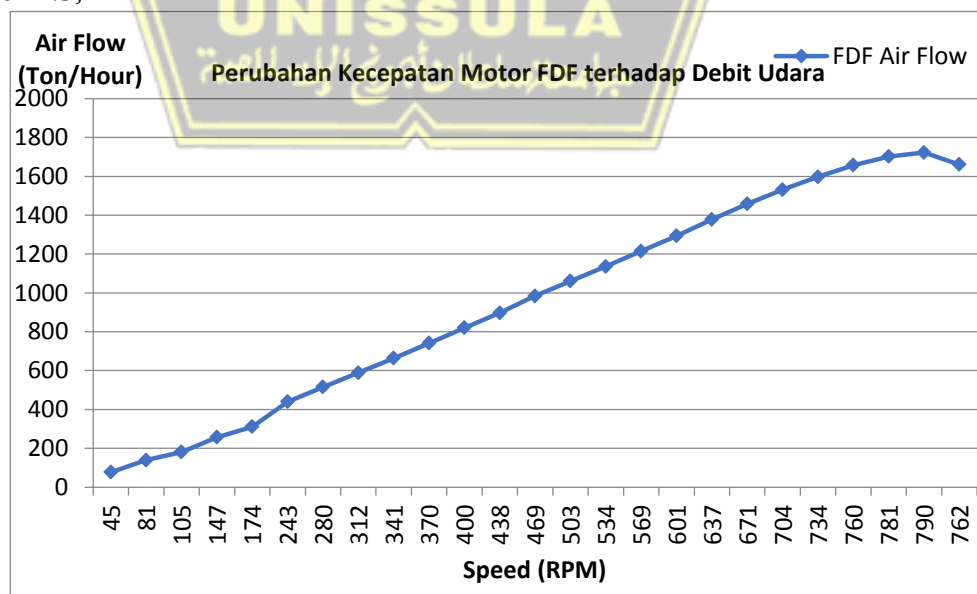
Gambar 4.7 menunjukkan perubahan frekuensi input dalam VFD mulai dari 2 Hz hingga 50 Hz diikuti oleh perubahan tegangan yang meningkat dari 2880 V hingga mendekati 10000 V yang merupakan tegangan input VFD. Kedua tegangan FDF dan PAF berimpit dan memiliki pola kenaikan yang mirip karena selisih tegangan keduanya bernilai kecil sehingga bentuk grafik yang dihasilkan hampir sama. Perubahan tegangan terhadap kecepatan motor FDF dan PAF ditunjukkan dalam gambar 4.8,



**Gambar 4.8** Grafik Perubahan Tegangan terhadap Kecepatan Motor FDF dan PAF

Gambar 4.8 menunjukkan perubahan tegangan yang diikuti oleh perubahan kecepatan motor FDF dan PAF. Pada motor FDF diperoleh tegangan terendah sebesar 2892 V diikuti kecepatan motor sebesar 45 Rpm, sementara pada tegangan tertinggi sebesar 9826 V diikuti kecepatan motor sebesar 762 Rpm. Pada motor PAF diperoleh tegangan terendah sebesar 2880 V diikuti kecepatan motor sebesar 295 Rpm dan pada tegangan tertinggi sebesar 9816 V diikuti kecepatan motor dengan nilai 1363 Rpm.

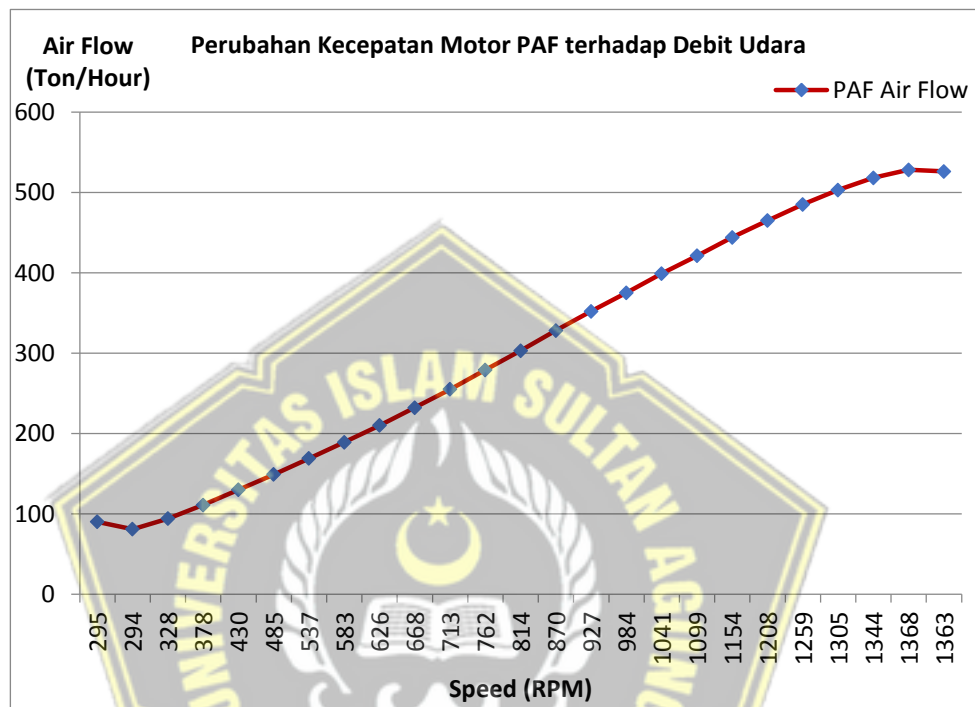
Perubahan kecepatan motor FDF terhadap debit udara diperlihatkan dalam Gambar 4.9,



**Gambar 4.9** Grafik Perubahan Kecepatan Motor FDF terhadap Debit Udara

Gambar 4.9 menunjukkan perubahan kecepatan motor FDF terhadap debit udara dalam *impeller fan* yang menjadi beban motor tersebut. Pada kecepatan terendah sebesar 45 Rpm diperoleh debit udara sebesar 77 Ton/jam dan pada kecepatan tertinggi sebesar 762 Rpm diperoleh debit udara sebesar 1661 Ton/jam.

Perubahan kecepatan motor PAF terhadap debit udara diperlihatkan dalam Gambar 4.10,



**Gambar 4.10** Grafik Perubahan Kecepatan Motor PAF terhadap Debit Udara

Gambar 4.10 menunjukkan perubahan kecepatan motor PAF terhadap debit udara yang dihasilkan oleh *fan* yang terkopel dengan motor tersebut. Pada kecepatan terendah sebesar 295 Rpm diperoleh debit udara sebesar 90 Ton/jam dan pada kecepatan tertinggi sebesar 1363 Rpm diperoleh debit udara sebesar 526 Ton/jam.

#### 4.2.3 Perhitungan Daya Simulasi

Perhitungan daya simulasi dilakukan berdasarkan data Tabel 4.3 Data Hasil Simulasi, dari data tersebut dicari nilai *flow rate* simulasi yang paling mendekati nilai *flow rate* aktual. Pendekatan ini bertujuan untuk mencari nilai kesetaraan diantara keduanya. Nilai pendekatan *flow rate* simulasi tersebut diikuti dengan nilai frekuensi, tegangan, arus dan kecepatan motor. Nilai pendekatan tersebut ditunjukkan dalam Tabel 4.4,

**Tabel 4.4** Pendekatan Nilai Aktual dan Nilai Simulasi

|                                        | FORCE DRAFT FAN MOTOR (FDF) |             |        |             |                    | PRIMARY AIR FAN MOTOR (PAF) |             |        |             |                    |
|----------------------------------------|-----------------------------|-------------|--------|-------------|--------------------|-----------------------------|-------------|--------|-------------|--------------------|
|                                        | Volt (V)                    | Current (A) | F (Hz) | Speed (Rpm) | Flow rate (Ton/hr) | Volt (V)                    | Current (A) | F (Hz) | Speed (Rpm) | Flow rate (Ton/hr) |
| <b>Nilai Aktual</b>                    | 9955,62                     | 174,22      | 50     | 740         | <b>967,5</b>       | 9955,62                     | 123,22      | 50     | 1467,63     | <b>242,85</b>      |
| <b>Nilai Pendekatan dalam Simulasi</b> | 8232                        | 112         | 26     | 469         | <b>984</b>         | 7561                        | 93          | 20     | 668         | <b>232</b>         |

#### 4.2.3.1 Total Daya motor FDF

Persamaan (2.9) digunakan untuk menghitung nilai daya listrik yang terdapat pada motor FDF,

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \\
 &= \sqrt{3} \cdot 8232 \cdot 112 \cdot 0,85 \\
 &= 1.355.777,472 \text{ W} \\
 &= 1.355,78 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung konsumsi daya listrik selama 1 jam maka dikalikan dengan jam;

$$\begin{aligned}
 P &= 1.355,78 \text{ KW} \cdot 1 \text{ jam} \\
 &= 1.355,78 \text{ KWh}
 \end{aligned}$$

Durasi motor bekerja dalam waktu 1 tahun adalah 7286 jam, dimana oleh karena itu total daya dihitung dengan mengalikan KWh terhadap durasi waktu setahun tersebut. Maka diperoleh,

$$\begin{aligned}
 P &= 1.355,78 \text{ KWh} \times 7286 \text{ jam} \\
 &= 9.878.213,08 \text{ KWh}
 \end{aligned}$$

Total biaya pengoperasian dihitung dengan mengalikan total KWh terhadap harga per KWh, digunakan persamaan (2.10),

$$\begin{aligned}
 &\text{Total biaya pengoperasian;} \\
 &= 9.878.213,08 \text{ KWh} \times \text{Rp. 1000} \\
 &= \text{Rp. 9.878.213.080}
 \end{aligned}$$

Efisiensi FDF dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1),

Efisiensi;

$$\eta = \frac{dP \cdot Q}{P_{FDF}} \times 100 \%$$

*Diferensial Pressure* (dP) adalah tekanan *flow rate* FDF pada saat bekerja dengan *damper* terbuka 100%, diketahui sebesar 1 KPa[23]. *Flow rate* sebesar 984 Ton/hr atau 273,34 kg/s. Maka dihitung sebagai berikut,

$$\eta = \frac{1 \times 273,34 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 60 \text{ second} \times 60 \text{ minute} \times 7286 \text{ hours}}{9.878.213.080 \text{ (Wh)}} \times 100 \%$$

$$\eta = 72,57 \%$$

#### 4.2.3.2 Total Daya Motor PAF

Persamaan (2.9) digunakan untuk menghitung nilai daya listrik yang terdapat pada motor PAF,

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \\ &= \sqrt{3} \cdot 7561 \cdot 93 \cdot 0.85 \\ &= 1.034.015,896 \text{ W.} \\ &= 1.034,016 \text{ KW} \end{aligned}$$

Untuk menghitung konsumsi daya listrik selama 1 jam maka dikalikan dengan jam;

$$\begin{aligned} P &= 1.034,016 \text{ KW} \cdot 1 \text{ jam} \\ &= 1.034,016 \text{ KWh} \end{aligned}$$

Durasi motor bekerja dalam waktu 1 tahun adalah 7286 jam, oleh karena itu total daya dihitung dengan mengalikan KWh terhadap durasi setahun tersebut. Maka diperoleh,

$$\begin{aligned} P &= 1.034,016 \text{ KWh} \times 7286 \text{ jam} \\ &= 7.533.840,576 \text{ KWh} \end{aligned}$$

Total biaya pengoperasian dihitung dengan mengalikan total KWh terhadap harga per KWh, digunakan persamaan (2.10),

Total biaya pengoperasian adalah,

$$\begin{aligned} \text{Total biaya pengoperasian,} \\ &= 7.533.840,576 \text{ KWh} \times \text{Rp. 1000} \\ &= \text{Rp. 7.533.840.576} \end{aligned}$$

Efisiensi PAF dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1),

Efisiensi;

$$\eta = \frac{dP \cdot Q}{P_{FDF}} \times 100 \%$$

*Diferensial Pressure* (dP) adalah tekanan *flow rate* FDF pada saat bekerja dengan *damper* terbuka 100%, diketahui sebesar 3 KPa[21]. *Flow rate* sebesar 232 Ton/hr atau 64 kg/s. Maka dihitung sebagai berikut,

$$\eta = \frac{3 \times 64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 60 \text{ second} \times 60 \text{ minute} \times 7286 \text{ hours}}{7.533.840.576 \text{ (Wh)}} \times 100 \%$$

$$\eta = 66,84 \%$$

#### 4.3 Peluang Penghematan

Peluang penghematan dihitung dari selisih dari daya motor terpasang dan daya motor simulasi. Daya motor yang terpasang adalah 25.645.627,1 KW/tahun dan daya simulasi dihitung dari (Total Daya motor FDF + Total Daya Motor PAF) adalah 17.412.053,656 KW/tahun, digunakan persamaan (2.11),

$$\begin{aligned} \text{Peluang Penghematan} &= \text{Daya aktual} - \text{Daya Simulasi} \\ &= 25.645.627,1 - 17.412.053,656 \\ &= 8.233.573,444 \text{ KW/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peluang penghematan finansial;} \\ &= 8.233.573,444 \text{ KW} \times \text{Rp } 1000 \\ &= \text{Rp } 8.233.573.444 \end{aligned}$$

Peluang penghematan daya listrik secara simulasi adalah 8.233.573,444 KW/tahun, secara finansial diperoleh penghematan biaya sebesar Rp 8.233.573.444 atau dalam prosentase sebesar 32,1%.

#### 4.4 Waktu Kembali Modal

Berdasarkan perkiraan biaya investasi untuk pemasangan VFD FDF sebesar Rp. 2,500,000,000 (lampiran 4) dan investasi VFD PAF sebesar Rp. 2,000,000,000 (lampiran 5) maka waktu kembali modal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.12),

$$\begin{aligned} \text{Waktu kembali modal} &= \text{Biaya investasi} / \text{biaya penghematan per tahun} \\ &= 4.500.000.000 / 8.233.573.444 \\ &= 0,546 \text{ tahun} \\ &= 6,552 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Untuk memudahkan analisa maka hasil pengelolaan data di atas disajikan dalam Tabel 4.5,

**Table 4.5** Rangkuman Data Hasil Penelitian

| No | Parameter                                                                 | Sistem Aktual  |               | Sistem Simulasi |               | Peluang Penghematan  |             |
|----|---------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------------|-------------|
|    |                                                                           | Motor FDF      | Motor PAF     | Motor FDF       | Motor PAF     | Motor FDF            | Motor PAF   |
| 1  | Durasi Operasi (Jam)                                                      | 7.286          | 7.286         | 7.286           | 7.286         |                      |             |
| 2  | Laju Udara (Ton/jam)                                                      | 967,5          | 242,85        | 984             | 255           |                      |             |
| 3  | Frekuensi (Hz)                                                            | 50             | 50            | 26              | 22            |                      |             |
| 4  | Tegangan (Vrms)                                                           | 9.955,62       | 9.955,62      | 8232            | 7561          |                      |             |
| 5  | Arus (Irms)                                                               | 174,22         | 123,22        | 112             | 93            |                      |             |
| 6  | Kecepatan motor (Rpm)                                                     | 740            | 1475          | 469             | 713           |                      |             |
| 7  | Total Daya(KW)<br>( $P=\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot 0,85$ )             | 2052,22        | 1467,63       | 1.355,78        | 1.034,016     |                      |             |
| 8  | Total Daya per motor<br>(KWh/tahun) (P.7286)                              | 14.952.474,92  | 10.693.152,18 | 9.878.213,08    | 7.533.840,576 | 5.074.261,8          | 2.344.372,5 |
| 9  | Total Daya 2 motor<br>(KWh/tahun)<br>(PFDF+PPAF)                          | 25.645.627,1   |               | 17.412.053,656  |               | 8.233.573,444        |             |
| 10 | Biaya listrik per KWh<br>(Rp)                                             | 1000           |               | 1000            |               | 1000                 |             |
| 11 | Total Biaya Operasi<br>(Rp/tahun) (Ptotal.1000)                           | 25.645.627.100 |               | 17.412.053.656  |               | <b>8.233.573.444</b> |             |
| 12 | Perkiraan biaya investasi<br>VFD (FDF+PAF)                                |                |               |                 |               | 4.500.000.000        |             |
| 13 | Waktu kembali modal<br>(tahun) (Total Investasi /<br>Peluang Penghematan) |                |               |                 |               | <b>0,546</b>         |             |
| 14 | Waktu kembali modal<br>(bulan)                                            |                |               |                 |               | <b>6,552</b>         |             |

Tabel 4.5 menyajikan perbandingan data antara sistem aktual dan sistem simulasi, perhitungan daya total selama satu tahun, biaya operasi hingga nilai peluang penghematan dan periode kembali modal.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan diatas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1. Simulasi VFD dalam Matlab/Simulink terdiri dari bermacam bagian dengan prinsip kerja yang sama sebagaimana perangkat sesungguhnya. Parameter yang diisikan kedalam simulasi tersebut sesuai dengan parameter perangkat aktual. Oleh karena itu data-data yang dihasilkan oleh simulasi Matlab/Simulink merupakan representasi dari VFD sebenarnya dan dapat digunakan sebagai acuan dalam implementasi.
2. Konsumsi energi listrik yang digunakan oleh FDF dan PAF dalam jangka waktu 1 tahun tanpa menggunakan VFD adalah sebesar 25.645.627,100 KWh, sementara dengan menggunakan VFD sebesar 17.412.053,656 KWh maka penggunaan VFD terhitung lebih hemat energi listrik karena konsumsi listriknya lebih rendah. Peluang penghematan dengan menggunakan VFD diperoleh sebesar 8.233.573,444 KWh dan keuntungan biaya yang diperoleh sebesar Rp. 8.233.573.444 atau 32,1%.
3. Dalam sistem *damp*er FDF memiliki efisiensi pengoperasian sebesar 32 %, dan PAF 49,01%. Setelah digunakan VFD terjadi peningkatan efisiensi FDF menjadi 72% dan PAF 66,84%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan VFD dapat memperbaiki efisiensi sistem FDF dan PAF secara signifikan.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk perusahaan PLTU disarankan melakukan peningkatan efisiensi energi dengan menerapkan VFD pada motor FDF dan PAF sehingga peluang penghematan dapat dicapai.
2. Untuk mereduksi *Total Harmonic Distortion* (THD) yang terjadi dalam simulasi matlab dianjurkan menerapkan *Band Pass Filter* (BPF) dengan nilai yang lebih sesuai sehingga sinyal yang dihasilkan dapat dianalisis lebih akurat.

3. Dalam simulasi, beban *damper* dianggap ideal dengan memberi nilai 0 pada *mechanical torque* motor, untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat maka perlu diterapkan simulasi *damper* secara mekanik.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Dr. Ing. Ir. Nasruddin, "Audit Energi dan Performance Test PLN Tanjung Jati B Unit 3 dan 4," Lembaga Teknologi Fakultas Teknik UI, Jakarta 10430 Indonesia, 2018.
- [2] A. Atmam, A. Tanjung, and Z. Zulfahri, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)," *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018, doi: 10.31849/sainetin.v2i2.1218.
- [3] T. Aditya, "Research to study Variable Frequency Drive and its Energy Savings," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 2319–7064, 2013.
- [4] T. Prayudi, "Pemasangan Variable Speed Drives ( VSD ) pada Fan untuk Menurunkan Penggunaan Listrik," *Tek. Lingkung.*, vol. Edisi Khus, pp. 28–36, 2006.
- [5] Y. Amundiasmo and J. Supriadi, "Kajian Pemakaian VSD Bagi Motor Induksi 3 Phasa di Sistem Pembuangan Udara Pada Produksi Kapas Untuk Penghematan Daya Listrik," vol. 2, no. 1, pp. 2–6, 2019.
- [6] Patric Marchand, "Graphics and GUIs with Matlab," A CRC Press Company, London, 2003.
- [7] A. Kale, N. R. Kamdi, M. P. Kale, and P. A. A. Yeotikar, "a Review Paper on Variable Frequency Drive," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 1281–1284, 2017, [Online]. Available: <https://irjet.net/archives/V4/i1/IRJET-V4I1229.pdf>.
- [8] P. Bhase and M. Lathkar, "Energy conservation using VFD," *Int. Conf. Energy Syst. Appl. ICESA 2015*, no. January, pp. 531–536, 2016, doi: 10.1109/ICESA.2015.7503406.
- [9] G. Anindita, E. Setiawan, and A. Syahid, "Optimasi Energi pada Motor Induksi 3 Fasa dalam Memproduksi Kebutuhan Air (Studi Kasus di PDAM Karang Pilang Surabaya)," *Semin. Nas. Maritim, Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 01, no. November, pp. 87–94, 2016.
- [10] P. Shinde, R. Burungale, P. Kale, P. Jain, and A. Prof, "Speed Control of Induction Motor by Using Variable Frequency Drive," *J. Eng. Res. Appl.* [www.ijera.com](http://www.ijera.com), vol. 4, no. 4, pp. 35–37, 2014, [Online]. Available: [www.ijera.com](http://www.ijera.com).
- [11] M. E. Sangputri and A. G. S, "Perhitungan Efisiensi Boiler PLTU Unit 20 PT .

- PJB UBJOM Rembang pada Beban 315 MW dengan Menggunakan Metode Langsung ( Direct Method ),” Politek. Elektron. Negeri Surabaya, vol. 1, no. 1, 2015.
- [12] R. B. Priambodo, “Analisa Efisiensi Forced Draft Fan B Unit #10 PT . PJB UBJ O&M PLTU Rembang,” Fak. Tek. Mesin, Univ. Diponegoro, 2015.
- [13] K. R. Musanta H. Ginting, Tony Suryo, “Analisa Efisiensi Exergi Boiler Di PLTU Unit 3 PT. Indonesia Power Semarang, Jawa Tengah,” J. Tek. Mesin, Univ. Diponegoro, vol. 1, no. 4, pp. 16–25, 2013.
- [14] EMC, “Differences Between Low Voltage and Medium Voltage VFD,” 2020. <https://emcsolutions.com/2020/05/14/low-voltage-vs-medium-voltage-vfds/>.
- [15] A. R. U. Arham, “Presentasi Program Pembidangan PLTU, PLTGU dan PLTP.” PLN Corporate University, 2015.
- [16] Mitsubishi, “Air and Flue Gas System.” Mitsubishi, Nagasaki, Japan, 2010.
- [17] M. H. Industries, “Forced Draft Fan.” PT. Central Java Power, Nagasaki, 2011.
- [18] M. H. Industries, “Primary Air Fan.” PT. Central Java Power, Nagasaki, 2011.
- [19] M. H. Industries, “Boiler Ducts & Dampers.” PT. Central Java Power, Nagasaki, Japan, 2011.
- [20] M. H. Industries, “Drawing of Forced Draft Fan Motor (A and B).” Sumitomo, Japan, 2008.
- [21] Mitsubishi, “Primary Air Fan Specification.” Mitsubishi Heavy Industries, 2008.
- [22] Mitsubishi, “Drawing of Primary Air Fan Motor (A and B).” Sumitomo, Japan, 2011.
- [23] Mitsubishi, “Forced Draft Fan Specification.” Mitsubishi Heavy Industries, Nagasaki, 2008.
- [24] A. S. N. Chairat, “Analisa Kapasitas Force Draft Fan dengan Bahan Bakar Batubara Kualitas Rendah,” J. Power Plant, no. id, pp. 1–6, 2016.
- [25] F. Electric, “Energy Saving Survey Report PT. Fuji Electric Indonesia,” Jakarta, 2018.
- [26] A. Syamutra Tanjung and I. Nur, “Studi Eksperimen Pengaruh Blade Setting Experimental Study the Effects of Blade Setting Angle 30 ° and 60 ° With Flat Plate Profile in Working Characteristic Curve of Axial Fan 120Mm,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2015.
- [27] B. S. Agus Risdiyanto, “Perancangan Inverter Sinusoida 1 Fasa dengan

- Aplikasi Pemrograman Rumus Parabola dan Segitiga Sebagai Pembangkit Pulsa PWM,” P2Telimek LIPI, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2008.
- [28] Toshiba, “Online Diagrams of MV Switch Boards,” Nagasaki, Japan, 1GEH00169 Rev.14, 2010.
- [29] P. D. Marwan, S.T., M.Eng.Sc., Belajar Mudah Matlab beserta Aplikasinya, 1st ed. Yogyakarta: CV. Andi Offset, 2017.
- [30] H. D. Laksono, Soal dan Jawaban Sistem Kendali dengan Matlab, 1st ed. Yogyakarta: Gava Media, 2018.
- [31] F. O. Enemuoh, E. E. Okafor, J. C. Onuegbu, and V. N. Agu, “Modelling , Simulation and Performance Analysis of A Variable Frequency Drive in Speed Control Of Induction Motor,” vol. 3, no. 5, pp. 36–41, 2013.
- [32] I. Nuryadi, Desain Simulasi Motor IDF dengan Kontrol Aliran menggunakan Variable Speed Drive Inverter. 1703/LMP/59/S1-ELE/06839, Indonesia, 2015.
- [33] R. W. Weeks, Using Simulink and Stateflow in Automotive Applications. Cambridge UK, 1998.
- [34] EPA, Three Phase Inverter and Variable Frequency Drive Simulation with Matlab (Simulink). Electronic Project Academic, 2018.



Lampiran 1,

Data pengamatan motor FDF dan PAF unit 3A selama 1 tahun (1 Januari 2019 - 31 Desember 2019)

| NO | TIME |         |      | FORCE DRAFT FAN MOTOR (FDF) |                |           |               |              | PRIMARY AIR FAN MOTOR (PAF) |                 |          |               |               | RUN<br>HOURS | TOTAL<br>POWER<br>(KWH) | REMARKS |
|----|------|---------|------|-----------------------------|----------------|-----------|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------|----------|---------------|---------------|--------------|-------------------------|---------|
|    | DATE | MONTH   | YEAR | VOLTAGE<br>(V)              | CURRENT<br>(A) | FREQ (HZ) | POWER<br>(KW) | DMPER<br>(%) | VOLTAGE<br>(V)              | CURREN<br>T (A) | FREQ(HZ) | POWER<br>(KW) | DAMPER<br>(%) |              |                         |         |
| 1  | 1    | January | 2019 | 9944                        | 145            | 50        | 2023          | 60           | 9944                        | 94              | 50       | 1452          | 44            | 24           | 83400                   |         |
| 2  | 2    | January | 2019 | 9946                        | 147            | 50        | 2025          | 62           | 9946                        | 96              | 50       | 1454          | 46            | 24           | 83496                   |         |
| 3  | 3    | January | 2019 | 9947                        | 148            | 50        | 2026          | 63           | 9947                        | 97              | 50       | 1455          | 47            | 24           | 83544                   |         |
| 4  | 4    | January | 2019 | 9940                        | 141            | 50        | 2019          | 56           | 9940                        | 90              | 50       | 1448          | 40            | 24           | 83208                   |         |
| 5  | 5    | January | 2019 | 9943                        | 144            | 50        | 2022          | 59           | 9943                        | 93              | 50       | 1451          | 43            | 24           | 83352                   |         |
| 6  | 6    | January | 2019 | 9945                        | 146            | 50        | 2024          | 61           | 9945                        | 95              | 50       | 1453          | 45            | 24           | 83448                   |         |
| 7  | 7    | January | 2019 | 9945                        | 146            | 50        | 2024          | 61           | 9945                        | 95              | 50       | 1455          | 47            | 24           | 83496                   |         |
| 8  | 8    | January | 2019 | 9947                        | 148            | 50        | 2026          | 63           | 9947                        | 97              | 50       | 1456          | 48            | 24           | 83568                   |         |
| 9  | 9    | January | 2019 | 9948                        | 149            | 50        | 2027          | 64           | 9948                        | 98              | 50       | 1449          | 41            | 24           | 83424                   |         |
| 10 | 10   | January | 2019 | 9941                        | 142            | 50        | 2020          | 57           | 9941                        | 91              | 50       | 1452          | 44            | 24           | 83328                   |         |
| 11 | 11   | January | 2019 | 9944                        | 145            | 50        | 2023          | 60           | 9944                        | 94              | 50       | 1454          | 46            | 24           | 83448                   |         |
| 12 | 12   | January | 2019 | 9946                        | 147            | 50        | 2025          | 62           | 9946                        | 96              | 50       | 1456          | 48            | 24           | 83544                   |         |
| 13 | 13   | January | 2019 | 9946                        | 147            | 50        | 2025          | 62           | 9946                        | 96              | 50       | 1457          | 49            | 24           | 83568                   |         |
| 14 | 14   | January | 2019 | 9948                        | 149            | 50        | 2027          | 64           | 9948                        | 98              | 50       | 1450          | 42            | 24           | 83448                   |         |
| 15 | 15   | January | 2019 | 9949                        | 150            | 50        | 2028          | 65           | 9949                        | 99              | 50       | 1453          | 45            | 24           | 83544                   |         |
| 16 | 16   | January | 2019 | 9942                        | 143            | 50        | 2021          | 58           | 9942                        | 92              | 50       | 1455          | 47            | 24           | 83424                   |         |
| 17 | 17   | January | 2019 | 9945                        | 146            | 50        | 2024          | 61           | 9945                        | 95              | 50       | 1457          | 49            | 24           | 83544                   |         |
| 18 | 18   | January | 2019 | 9947                        | 148            | 50        | 2026          | 63           | 9947                        | 97              | 50       | 1458          | 50            | 24           | 83616                   |         |
| 19 | 19   | January | 2019 | 9948                        | 148            | 50        | 2026          | 63           | 9948                        | 97              | 50       | 1451          | 43            | 24           | 83448                   |         |
| 20 | 20   | January | 2019 | 9941                        | 150            | 50        | 2028          | 65           | 9941                        | 99              | 50       | 1454          | 46            | 24           | 83568                   |         |
| 21 | 21   | January | 2019 | 9944                        | 151            | 50        | 2029          | 66           | 9944                        | 100             | 50       | 1456          | 48            | 24           | 83640                   |         |
| 22 | 22   | January | 2019 | 9946                        | 144            | 50        | 2022          | 59           | 9946                        | 93              | 50       | 1458          | 50            | 24           | 83520                   |         |
| 23 | 23   | January | 2019 | 9946                        | 147            | 50        | 2025          | 62           | 9946                        | 96              | 50       | 1459          | 51            | 24           | 83616                   |         |
| 24 | 24   | January | 2019 | 9948                        | 149            | 50        | 2027          | 64           | 9948                        | 98              | 50       | 1452          | 44            | 24           | 83496                   |         |
| 25 | 25   | January | 2019 | 9949                        | 149            | 50        | 2027          | 64           | 9949                        | 98              | 50       | 1455          | 47            | 24           | 83568                   |         |
| 26 | 26   | January | 2019 | 9942                        | 151            | 50        | 2029          | 66           | 9942                        | 100             | 50       | 1457          | 49            | 24           | 83664                   |         |
| 27 | 27   | January | 2019 | 9945                        | 152            | 50        | 2030          | 67           | 9945                        | 101             | 50       | 1459          | 51            | 24           | 83736                   |         |

|    |    |          |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                     |
|----|----|----------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|---------------------------------------------------------------------|
| 28 | 28 | January  | 2019 | 9947 | 145 | 50 | 2023 | 60 | 9947 | 94  | 50 | 1460 | 52 | 24 | 83592 |                                                                     |
| 29 | 29 | January  | 2019 | 9947 | 148 | 50 | 2026 | 63 | 9947 | 97  | 50 | 1453 | 45 | 24 | 83496 |                                                                     |
| 30 | 30 | January  | 2019 | 9949 | 150 | 50 | 2028 | 65 | 9949 | 99  | 50 | 1456 | 44 | 24 | 83616 |                                                                     |
| 31 | 31 | January  | 2019 | 9950 | 150 | 50 | 2028 | 65 | 9950 | 99  | 50 | 1458 | 46 | 24 | 83664 |                                                                     |
| 32 | 1  | February | 2019 | 9943 | 152 | 50 | 2030 | 67 | 9943 | 101 | 50 | 1460 | 47 | 24 | 83760 |                                                                     |
| 33 | 2  | February | 2019 | 9946 | 153 | 50 | 2031 | 68 | 9946 | 102 | 50 | 1461 | 40 | 24 | 83808 |                                                                     |
| 34 | 3  | February | 2019 | 9948 | 146 | 50 | 2024 | 61 | 9948 | 95  | 50 | 1454 | 43 | 8  | 27824 |                                                                     |
| 35 | 4  | February | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       | Unit trip<br>due to<br>Boiler<br>circulation<br>motor was<br>broken |
| 36 | 5  | February | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                     |
| 37 | 6  | February | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                     |
| 38 | 7  | February | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                     |
| 39 | 8  | February | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                     |
| 40 | 9  | February | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                     |
| 41 | 10 | February | 2019 | 9947 | 151 | 50 | 2029 | 66 | 9947 | 100 | 50 | 1452 | 44 | 20 | 69620 |                                                                     |
| 42 | 11 | February | 2019 | 9949 | 153 | 50 | 2031 | 68 | 9949 | 102 | 50 | 1454 | 46 | 24 | 83640 |                                                                     |
| 43 | 12 | February | 2019 | 9950 | 152 | 50 | 2030 | 67 | 9950 | 101 | 50 | 1455 | 47 | 24 | 83640 |                                                                     |
| 44 | 13 | February | 2019 | 9943 | 154 | 50 | 2032 | 69 | 9943 | 103 | 50 | 1448 | 40 | 24 | 83520 |                                                                     |
| 45 | 14 | February | 2019 | 9948 | 155 | 50 | 2033 | 70 | 9948 | 104 | 50 | 1451 | 43 | 24 | 83616 |                                                                     |
| 46 | 15 | February | 2019 | 9950 | 148 | 50 | 2026 | 63 | 9950 | 97  | 50 | 1453 | 45 | 24 | 83496 |                                                                     |
| 47 | 16 | February | 2019 | 9951 | 151 | 50 | 2029 | 66 | 9951 | 100 | 50 | 1455 | 47 | 24 | 83616 |                                                                     |
| 48 | 17 | February | 2019 | 9944 | 153 | 50 | 2031 | 68 | 9944 | 102 | 50 | 1456 | 48 | 24 | 83688 |                                                                     |
| 49 | 18 | February | 2019 | 9947 | 153 | 50 | 2031 | 68 | 9947 | 102 | 50 | 1449 | 41 | 24 | 83520 |                                                                     |
| 50 | 19 | February | 2019 | 9949 | 155 | 50 | 2033 | 70 | 9949 | 104 | 50 | 1452 | 44 | 24 | 83640 |                                                                     |
| 51 | 20 | February | 2019 | 9950 | 156 | 50 | 2034 | 60 | 9950 | 105 | 50 | 1454 | 46 | 24 | 83712 |                                                                     |
| 52 | 21 | February | 2019 | 9943 | 149 | 50 | 2027 | 62 | 9943 | 98  | 50 | 1456 | 48 | 24 | 83592 |                                                                     |
| 53 | 22 | February | 2019 | 9946 | 152 | 50 | 2030 | 63 | 9946 | 101 | 50 | 1457 | 49 | 24 | 83688 |                                                                     |
| 54 | 23 | February | 2019 | 9948 | 154 | 50 | 2032 | 56 | 9948 | 103 | 50 | 1450 | 42 | 24 | 83568 |                                                                     |
| 55 | 24 | February | 2019 | 9948 | 154 | 50 | 2032 | 59 | 9948 | 103 | 50 | 1453 | 45 | 24 | 83640 |                                                                     |
| 56 | 25 | February | 2019 | 9950 | 156 | 50 | 2034 | 61 | 9950 | 105 | 50 | 1455 | 47 | 24 | 83736 |                                                                     |
| 57 | 26 | February | 2019 | 9951 | 157 | 50 | 2035 | 61 | 9951 | 106 | 50 | 1457 | 49 | 24 | 83808 |                                                                     |
| 58 | 27 | February | 2019 | 9944 | 150 | 50 | 2028 | 63 | 9944 | 99  | 50 | 1458 | 50 | 24 | 83664 |                                                                     |
| 59 | 28 | February | 2019 | 9947 | 153 | 50 | 2031 | 64 | 9947 | 102 | 50 | 1451 | 43 | 24 | 83568 |                                                                     |

|    |    |       |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                               |
|----|----|-------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|-----------------------------------------------|
| 60 | 1  | March | 2019 | 9949 | 155 | 50 | 2033 | 57 | 9949 | 104 | 50 | 1454 | 46 | 24 | 83688 |                                               |
| 61 | 2  | March | 2019 | 9949 | 155 | 50 | 2033 | 60 | 9949 | 104 | 50 | 1456 | 48 | 24 | 83736 |                                               |
| 62 | 3  | March | 2019 | 9951 | 157 | 50 | 2035 | 62 | 9951 | 106 | 50 | 1458 | 50 | 24 | 83832 |                                               |
| 63 | 4  | March | 2019 | 9952 | 158 | 50 | 2036 | 62 | 9952 | 107 | 50 | 1459 | 51 | 24 | 83880 |                                               |
| 64 | 5  | March | 2019 | 9945 | 151 | 50 | 2029 | 64 | 9945 | 100 | 50 | 1452 | 44 | 24 | 83544 |                                               |
| 65 | 6  | March | 2019 | 9948 | 154 | 50 | 2032 | 65 | 9948 | 103 | 50 | 1455 | 47 | 24 | 83688 |                                               |
| 66 | 7  | March | 2019 | 9950 | 156 | 50 | 2034 | 58 | 9950 | 105 | 50 | 1457 | 49 | 24 | 83784 |                                               |
| 67 | 8  | March | 2019 | 9951 | 156 | 50 | 2034 | 61 | 9951 | 105 | 50 | 1459 | 51 | 24 | 83832 |                                               |
| 68 | 9  | March | 2019 | 9944 | 158 | 50 | 2036 | 63 | 9944 | 107 | 50 | 1460 | 52 | 24 | 83904 |                                               |
| 69 | 10 | March | 2019 | 9947 | 159 | 50 | 2037 | 63 | 9947 | 108 | 50 | 1453 | 45 | 24 | 83760 |                                               |
| 70 | 11 | March | 2019 | 9949 | 152 | 50 | 2030 | 65 | 9949 | 101 | 50 | 1456 | 44 | 24 | 83664 |                                               |
| 71 | 12 | March | 2019 | 9949 | 155 | 50 | 2033 | 66 | 9949 | 104 | 50 | 1458 | 46 | 24 | 83784 |                                               |
| 72 | 13 | March | 2019 | 9951 | 157 | 50 | 2035 | 59 | 9951 | 106 | 50 | 1460 | 47 | 24 | 83880 |                                               |
| 73 | 14 | March | 2019 | 9952 | 157 | 50 | 2035 | 62 | 9952 | 106 | 50 | 1461 | 40 | 6  | 20976 |                                               |
| 74 | 15 | March | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       | Unit trip<br>due to<br>maintenanc<br>e outage |
| 75 | 16 | March | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                               |
| 76 | 17 | March | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                               |
| 77 | 18 | March | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                               |
| 78 | 19 | March | 2019 | 9948 | 158 | 50 | 2036 | 64 | 9948 | 107 | 50 | 1450 | 43 | 18 | 62748 |                                               |
| 79 | 20 | March | 2019 | 9950 | 158 | 50 | 2036 | 66 | 9950 | 107 | 50 | 1453 | 45 | 24 | 83736 |                                               |
| 80 | 21 | March | 2019 | 9951 | 160 | 50 | 2038 | 67 | 9951 | 109 | 50 | 1455 | 46 | 24 | 83832 |                                               |
| 81 | 22 | March | 2019 | 9949 | 161 | 50 | 2039 | 65 | 9949 | 110 | 50 | 1457 | 39 | 24 | 83904 |                                               |
| 82 | 23 | March | 2019 | 9951 | 154 | 50 | 2032 | 67 | 9951 | 103 | 50 | 1458 | 42 | 24 | 83760 |                                               |
| 83 | 24 | March | 2019 | 9952 | 157 | 50 | 2035 | 68 | 9952 | 106 | 50 | 1451 | 44 | 24 | 83664 |                                               |
| 84 | 25 | March | 2019 | 9945 | 159 | 50 | 2037 | 61 | 9945 | 108 | 50 | 1454 | 46 | 24 | 83784 |                                               |
| 85 | 26 | March | 2019 | 9948 | 159 | 50 | 2037 | 64 | 9948 | 108 | 50 | 1456 | 47 | 24 | 83832 |                                               |
| 86 | 27 | March | 2019 | 9950 | 161 | 50 | 2039 | 66 | 9950 | 110 | 50 | 1458 | 40 | 24 | 83928 |                                               |
| 87 | 28 | March | 2019 | 9950 | 162 | 50 | 2040 | 66 | 9950 | 111 | 50 | 1459 | 43 | 24 | 83976 |                                               |
| 88 | 29 | March | 2019 | 9952 | 155 | 50 | 2033 | 68 | 9952 | 104 | 50 | 1452 | 44 | 24 | 83640 |                                               |
| 89 | 30 | March | 2019 | 9953 | 158 | 50 | 2036 | 69 | 9953 | 107 | 50 | 1455 | 46 | 24 | 83784 |                                               |
| 90 | 31 | March | 2019 | 9946 | 160 | 50 | 2038 | 62 | 9946 | 109 | 50 | 1457 | 47 | 24 | 83880 |                                               |
| 91 | 1  | April | 2019 | 9949 | 160 | 50 | 2038 | 65 | 9949 | 109 | 50 | 1459 | 40 | 24 | 83928 |                                               |

|     |    |       |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
|-----|----|-------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--|
| 92  | 2  | April | 2019 | 9951 | 162 | 50 | 2040 | 67 | 9951 | 111 | 50 | 1460 | 43 | 24 | 84000 |  |
| 93  | 3  | April | 2019 | 9951 | 163 | 50 | 2041 | 67 | 9951 | 112 | 50 | 1453 | 45 | 24 | 83856 |  |
| 94  | 4  | April | 2019 | 9953 | 156 | 50 | 2034 | 69 | 9953 | 105 | 50 | 1456 | 47 | 24 | 83760 |  |
| 95  | 5  | April | 2019 | 9954 | 159 | 50 | 2037 | 70 | 9954 | 108 | 50 | 1458 | 48 | 24 | 83880 |  |
| 96  | 6  | April | 2019 | 9947 | 161 | 50 | 2039 | 63 | 9947 | 110 | 50 | 1460 | 41 | 24 | 83976 |  |
| 97  | 7  | April | 2019 | 9950 | 161 | 50 | 2039 | 66 | 9950 | 110 | 50 | 1461 | 44 | 24 | 84000 |  |
| 98  | 8  | April | 2019 | 9952 | 163 | 50 | 2041 | 68 | 9952 | 112 | 50 | 1450 | 46 | 24 | 83784 |  |
| 99  | 9  | April | 2019 | 9953 | 164 | 50 | 2042 | 68 | 9953 | 113 | 50 | 1453 | 48 | 24 | 83880 |  |
| 100 | 10 | April | 2019 | 9946 | 157 | 50 | 2035 | 70 | 9946 | 106 | 50 | 1455 | 49 | 24 | 83760 |  |
| 101 | 11 | April | 2019 | 9949 | 160 | 50 | 2038 | 60 | 9949 | 109 | 50 | 1457 | 42 | 24 | 83880 |  |
| 102 | 12 | April | 2019 | 9951 | 162 | 50 | 2040 | 62 | 9951 | 111 | 50 | 1458 | 45 | 24 | 83952 |  |
| 103 | 13 | April | 2019 | 9951 | 162 | 50 | 2040 | 63 | 9951 | 111 | 50 | 1451 | 47 | 24 | 83784 |  |
| 104 | 14 | April | 2019 | 9953 | 164 | 50 | 2042 | 56 | 9953 | 113 | 50 | 1454 | 49 | 24 | 83904 |  |
| 105 | 15 | April | 2019 | 9954 | 165 | 50 | 2043 | 59 | 9954 | 114 | 50 | 1456 | 50 | 24 | 83976 |  |
| 106 | 16 | April | 2019 | 9947 | 158 | 50 | 2036 | 61 | 9947 | 107 | 50 | 1458 | 43 | 24 | 83856 |  |
| 107 | 17 | April | 2019 | 9950 | 161 | 50 | 2039 | 61 | 9950 | 110 | 50 | 1459 | 46 | 24 | 83952 |  |
| 108 | 18 | April | 2019 | 9952 | 163 | 50 | 2041 | 63 | 9952 | 112 | 50 | 1452 | 48 | 24 | 83832 |  |
| 109 | 19 | April | 2019 | 9952 | 163 | 50 | 2041 | 64 | 9952 | 112 | 50 | 1455 | 50 | 24 | 83904 |  |
| 110 | 20 | April | 2019 | 9954 | 165 | 50 | 2043 | 57 | 9954 | 114 | 50 | 1457 | 51 | 24 | 84000 |  |
| 111 | 21 | April | 2019 | 9955 | 166 | 50 | 2044 | 60 | 9955 | 115 | 50 | 1459 | 44 | 24 | 84072 |  |
| 112 | 22 | April | 2019 | 9948 | 159 | 50 | 2037 | 62 | 9948 | 108 | 50 | 1460 | 47 | 24 | 83928 |  |
| 113 | 23 | April | 2019 | 9951 | 162 | 50 | 2040 | 62 | 9951 | 111 | 50 | 1453 | 49 | 24 | 83832 |  |
| 114 | 24 | April | 2019 | 9953 | 164 | 50 | 2042 | 64 | 9953 | 113 | 50 | 1456 | 51 | 24 | 83952 |  |
| 115 | 25 | April | 2019 | 9954 | 164 | 50 | 2042 | 65 | 9954 | 113 | 50 | 1458 | 52 | 24 | 84000 |  |
| 116 | 26 | April | 2019 | 9947 | 166 | 50 | 2044 | 58 | 9947 | 115 | 50 | 1460 | 45 | 24 | 84096 |  |
| 117 | 27 | April | 2019 | 9950 | 167 | 50 | 2045 | 61 | 9950 | 116 | 50 | 1461 | 44 | 24 | 84144 |  |
| 118 | 28 | April | 2019 | 9952 | 160 | 50 | 2038 | 63 | 9952 | 109 | 50 | 1454 | 46 | 24 | 83808 |  |
| 119 | 29 | April | 2019 | 9952 | 163 | 50 | 2041 | 63 | 9952 | 112 | 50 | 1457 | 47 | 24 | 83952 |  |
| 120 | 30 | April | 2019 | 9954 | 165 | 50 | 2043 | 65 | 9954 | 114 | 50 | 1459 | 40 | 24 | 84048 |  |
| 121 | 1  | May   | 2019 | 9955 | 165 | 50 | 2043 | 66 | 9955 | 114 | 50 | 1461 | 43 | 24 | 84096 |  |
| 122 | 2  | May   | 2019 | 9948 | 167 | 50 | 2045 | 59 | 9948 | 116 | 50 | 1462 | 45 | 24 | 84168 |  |
| 123 | 3  | May   | 2019 | 9951 | 168 | 50 | 2046 | 62 | 9951 | 117 | 50 | 1455 | 47 | 24 | 84024 |  |

|     |    |      |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
|-----|----|------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--|
| 124 | 4  | May  | 2019 | 9953 | 161 | 50 | 2039 | 64 | 9953 | 110 | 50 | 1458 | 48 | 24 | 83928 |  |
| 125 | 5  | May  | 2019 | 9953 | 164 | 50 | 2042 | 64 | 9953 | 113 | 50 | 1460 | 41 | 24 | 84048 |  |
| 126 | 6  | May  | 2019 | 9955 | 166 | 50 | 2044 | 66 | 9955 | 115 | 50 | 1462 | 44 | 24 | 84144 |  |
| 127 | 7  | May  | 2019 | 9956 | 166 | 50 | 2044 | 67 | 9956 | 115 | 50 | 1463 | 46 | 24 | 84168 |  |
| 128 | 8  | May  | 2019 | 9949 | 168 | 50 | 2046 | 60 | 9949 | 117 | 50 | 1456 | 48 | 24 | 84048 |  |
| 129 | 9  | May  | 2019 | 9952 | 169 | 50 | 2047 | 63 | 9952 | 118 | 50 | 1459 | 49 | 24 | 84144 |  |
| 130 | 10 | May  | 2019 | 9954 | 162 | 50 | 2040 | 65 | 9954 | 111 | 50 | 1461 | 42 | 24 | 84024 |  |
| 131 | 11 | May  | 2019 | 9955 | 165 | 50 | 2043 | 65 | 9955 | 114 | 50 | 1463 | 45 | 24 | 84144 |  |
| 132 | 12 | May  | 2019 | 9948 | 167 | 50 | 2045 | 67 | 9948 | 116 | 50 | 1464 | 47 | 24 | 84216 |  |
| 133 | 13 | May  | 2019 | 9951 | 167 | 50 | 2045 | 68 | 9951 | 116 | 50 | 1457 | 49 | 24 | 84048 |  |
| 134 | 14 | May  | 2019 | 9953 | 169 | 50 | 2047 | 61 | 9953 | 118 | 50 | 1460 | 50 | 24 | 84168 |  |
| 135 | 15 | May  | 2019 | 9953 | 170 | 50 | 2048 | 64 | 9953 | 119 | 50 | 1462 | 43 | 24 | 84240 |  |
| 136 | 16 | May  | 2019 | 9955 | 163 | 50 | 2041 | 66 | 9955 | 112 | 50 | 1464 | 46 | 24 | 84120 |  |
| 137 | 17 | May  | 2019 | 9956 | 166 | 50 | 2044 | 66 | 9956 | 115 | 50 | 1465 | 48 | 24 | 84216 |  |
| 138 | 18 | May  | 2019 | 9949 | 168 | 50 | 2046 | 68 | 9949 | 117 | 50 | 1458 | 50 | 24 | 84096 |  |
| 139 | 19 | May  | 2019 | 9952 | 168 | 50 | 2046 | 69 | 9952 | 117 | 50 | 1461 | 51 | 24 | 84168 |  |
| 140 | 20 | May  | 2019 | 9954 | 170 | 50 | 2048 | 62 | 9954 | 119 | 50 | 1463 | 44 | 24 | 84264 |  |
| 141 | 21 | May  | 2019 | 9954 | 171 | 50 | 2049 | 65 | 9954 | 120 | 50 | 1465 | 47 | 24 | 84336 |  |
| 142 | 22 | May  | 2019 | 9956 | 164 | 50 | 2042 | 67 | 9956 | 113 | 50 | 1466 | 49 | 24 | 84192 |  |
| 143 | 23 | May  | 2019 | 9957 | 167 | 50 | 2045 | 67 | 9957 | 116 | 50 | 1459 | 51 | 24 | 84096 |  |
| 144 | 24 | May  | 2019 | 9950 | 169 | 50 | 2047 | 69 | 9950 | 118 | 50 | 1462 | 52 | 24 | 84216 |  |
| 145 | 25 | May  | 2019 | 9953 | 169 | 50 | 2047 | 70 | 9953 | 118 | 50 | 1464 | 45 | 24 | 84264 |  |
| 146 | 26 | May  | 2019 | 9955 | 171 | 50 | 2049 | 63 | 9955 | 120 | 50 | 1466 | 44 | 24 | 84360 |  |
| 147 | 27 | May  | 2019 | 9956 | 172 | 50 | 2050 | 66 | 9956 | 121 | 50 | 1467 | 46 | 24 | 84408 |  |
| 148 | 28 | May  | 2019 | 9949 | 165 | 50 | 2043 | 68 | 9949 | 114 | 50 | 1460 | 47 | 24 | 84072 |  |
| 149 | 29 | May  | 2019 | 9952 | 168 | 50 | 2046 | 68 | 9952 | 117 | 50 | 1463 | 40 | 24 | 84216 |  |
| 150 | 30 | May  | 2019 | 9954 | 170 | 50 | 2048 | 70 | 9954 | 119 | 50 | 1465 | 43 | 24 | 84312 |  |
| 151 | 31 | May  | 2019 | 9954 | 170 | 50 | 2048 | 60 | 9954 | 119 | 50 | 1467 | 45 | 24 | 84360 |  |
| 152 | 1  | June | 2019 | 9956 | 172 | 50 | 2050 | 62 | 9956 | 121 | 50 | 1468 | 47 | 24 | 84432 |  |
| 153 | 2  | June | 2019 | 9957 | 173 | 50 | 2051 | 63 | 9957 | 122 | 50 | 1461 | 48 | 24 | 84288 |  |
| 154 | 3  | June | 2019 | 9950 | 166 | 50 | 2044 | 56 | 9950 | 115 | 50 | 1464 | 41 | 24 | 84192 |  |
| 155 | 4  | June | 2019 | 9953 | 169 | 50 | 2047 | 59 | 9953 | 118 | 50 | 1466 | 44 | 4  | 14052 |  |

|     |    |      |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                    |
|-----|----|------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--------------------------------------------------------------------|
| 156 | 5  | June | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       | Shutdown<br>for<br>electrical<br>efficiency                        |
| 157 | 6  | June | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                                                    |
| 158 | 7  | June | 2019 | 9953 | 171 | 50 | 2049 | 61 | 9953 | 120 | 50 | 1462 | 49 | 10 | 35110 |                                                                    |
| 159 | 8  | June | 2019 | 9955 | 173 | 50 | 2051 | 63 | 9955 | 122 | 50 | 1465 | 42 | 24 | 84384 |                                                                    |
| 160 | 9  | June | 2019 | 9956 | 174 | 50 | 2052 | 64 | 9956 | 123 | 50 | 1467 | 45 | 24 | 84456 |                                                                    |
| 161 | 10 | June | 2019 | 9954 | 167 | 50 | 2045 | 57 | 9954 | 116 | 50 | 1462 | 49 | 24 | 84168 |                                                                    |
| 162 | 11 | June | 2019 | 9956 | 170 | 50 | 2048 | 60 | 9956 | 119 | 50 | 1465 | 42 | 24 | 84312 |                                                                    |
| 163 | 12 | June | 2019 | 9957 | 172 | 50 | 2050 | 62 | 9957 | 121 | 50 | 1463 | 45 | 24 | 84312 |                                                                    |
| 164 | 13 | June | 2019 | 9950 | 174 | 50 | 2052 | 64 | 9950 | 123 | 50 | 1466 | 43 | 24 | 84432 |                                                                    |
| 165 | 14 | June | 2019 | 9953 | 175 | 50 | 2053 | 65 | 9953 | 124 | 50 | 1468 | 46 | 24 | 84504 |                                                                    |
| 166 | 15 | June | 2019 | 9955 | 168 | 50 | 2046 | 58 | 9955 | 117 | 50 | 1463 | 50 | 24 | 84216 |                                                                    |
| 167 | 16 | June | 2019 | 9955 | 171 | 50 | 2049 | 61 | 9955 | 120 | 50 | 1466 | 43 | 24 | 84360 |                                                                    |
| 168 | 17 | June | 2019 | 9957 | 173 | 50 | 2051 | 63 | 9957 | 122 | 50 | 1464 | 46 | 24 | 84360 |                                                                    |
| 169 | 18 | June | 2019 | 9958 | 173 | 50 | 2051 | 63 | 9958 | 122 | 50 | 1467 | 44 | 24 | 84432 |                                                                    |
| 170 | 19 | June | 2019 | 9951 | 175 | 50 | 2053 | 65 | 9951 | 124 | 50 | 1469 | 47 | 24 | 84528 |                                                                    |
| 171 | 20 | June | 2019 | 9954 | 176 | 50 | 2054 | 66 | 9954 | 125 | 50 | 1464 | 51 | 24 | 84432 |                                                                    |
| 172 | 21 | June | 2019 | 9956 | 169 | 50 | 2047 | 59 | 9956 | 118 | 50 | 1467 | 44 | 24 | 84336 |                                                                    |
| 173 | 22 | June | 2019 | 9956 | 172 | 50 | 2050 | 62 | 9956 | 121 | 50 | 1465 | 47 | 24 | 84360 |                                                                    |
| 174 | 23 | June | 2019 | 9958 | 174 | 50 | 2052 | 64 | 9958 | 123 | 50 | 1468 | 45 | 24 | 84480 |                                                                    |
| 175 | 24 | June | 2019 | 9959 | 174 | 50 | 2052 | 64 | 9959 | 123 | 50 | 1470 | 44 | 24 | 84528 |                                                                    |
| 176 | 25 | June | 2019 | 9952 | 176 | 50 | 2054 | 66 | 9952 | 125 | 50 | 1465 | 46 | 14 | 49266 | Derating<br>unit due to<br>disturbance<br>of electrical<br>network |
| 177 | 26 | June | 2019 | 9955 | 177 | 50 | 2055 | 67 | 9955 | 126 | 50 | 1468 | 47 | 24 | 84552 |                                                                    |
| 178 | 27 | June | 2019 | 9957 | 170 | 50 | 2048 | 60 | 9957 | 119 | 50 | 1466 | 40 | 24 | 84336 |                                                                    |
| 179 | 28 | June | 2019 | 9958 | 173 | 50 | 2051 | 63 | 9958 | 122 | 50 | 1469 | 43 | 24 | 84480 |                                                                    |
| 180 | 29 | June | 2019 | 9951 | 175 | 50 | 2053 | 65 | 9951 | 124 | 50 | 1471 | 45 | 24 | 84576 |                                                                    |
| 181 | 30 | June | 2019 | 9954 | 175 | 50 | 2053 | 65 | 9954 | 124 | 50 | 1466 | 47 | 24 | 84456 |                                                                    |
| 182 | 1  | July | 2019 | 9956 | 177 | 50 | 2055 | 67 | 9956 | 126 | 50 | 1469 | 48 | 24 | 84576 |                                                                    |
| 183 | 2  | July | 2019 | 9956 | 178 | 50 | 2056 | 68 | 9956 | 127 | 50 | 1467 | 41 | 24 | 84552 |                                                                    |

|     |    |        |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
|-----|----|--------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--|
| 184 | 3  | July   | 2019 | 9958 | 171 | 50 | 2049 | 61 | 9958 | 120 | 50 | 1470 | 44 | 24 | 84456 |  |
| 185 | 4  | July   | 2019 | 9959 | 174 | 50 | 2052 | 64 | 9959 | 123 | 50 | 1472 | 46 | 24 | 84576 |  |
| 186 | 5  | July   | 2019 | 9952 | 176 | 50 | 2054 | 66 | 9952 | 125 | 50 | 1467 | 48 | 24 | 84504 |  |
| 187 | 6  | July   | 2019 | 9955 | 176 | 50 | 2054 | 66 | 9955 | 125 | 50 | 1470 | 49 | 24 | 84576 |  |
| 188 | 7  | July   | 2019 | 9957 | 178 | 50 | 2056 | 68 | 9957 | 127 | 50 | 1468 | 42 | 24 | 84576 |  |
| 189 | 8  | July   | 2019 | 9957 | 179 | 50 | 2057 | 69 | 9957 | 128 | 50 | 1471 | 45 | 24 | 84672 |  |
| 190 | 9  | July   | 2019 | 9959 | 172 | 50 | 2050 | 62 | 9959 | 121 | 50 | 1473 | 47 | 24 | 84552 |  |
| 191 | 10 | July   | 2019 | 9960 | 175 | 50 | 2053 | 65 | 9960 | 124 | 50 | 1468 | 49 | 24 | 84504 |  |
| 192 | 11 | July   | 2019 | 9953 | 177 | 50 | 2055 | 67 | 9953 | 126 | 50 | 1471 | 50 | 24 | 84624 |  |
| 193 | 12 | July   | 2019 | 9956 | 177 | 50 | 2055 | 67 | 9956 | 126 | 50 | 1469 | 43 | 24 | 84576 |  |
| 194 | 13 | July   | 2019 | 9958 | 179 | 50 | 2057 | 69 | 9958 | 128 | 50 | 1472 | 46 | 24 | 84696 |  |
| 195 | 14 | July   | 2019 | 9959 | 180 | 50 | 2058 | 70 | 9959 | 129 | 50 | 1474 | 48 | 24 | 84768 |  |
| 196 | 15 | July   | 2019 | 9952 | 173 | 50 | 2051 | 63 | 9952 | 122 | 50 | 1469 | 50 | 24 | 84480 |  |
| 197 | 16 | July   | 2019 | 9955 | 176 | 50 | 2054 | 66 | 9955 | 125 | 50 | 1472 | 51 | 24 | 84624 |  |
| 198 | 17 | July   | 2019 | 9957 | 178 | 50 | 2056 | 68 | 9957 | 127 | 50 | 1470 | 44 | 24 | 84624 |  |
| 199 | 18 | July   | 2019 | 9957 | 178 | 50 | 2056 | 68 | 9957 | 127 | 50 | 1473 | 47 | 24 | 84696 |  |
| 200 | 19 | July   | 2019 | 9959 | 180 | 50 | 2058 | 70 | 9959 | 129 | 50 | 1475 | 49 | 24 | 84792 |  |
| 201 | 20 | July   | 2019 | 9960 | 181 | 50 | 2059 | 60 | 9960 | 130 | 50 | 1470 | 51 | 24 | 84696 |  |
| 202 | 21 | July   | 2019 | 9953 | 174 | 50 | 2052 | 62 | 9953 | 123 | 50 | 1473 | 52 | 24 | 84600 |  |
| 203 | 22 | July   | 2019 | 9956 | 177 | 50 | 2055 | 63 | 9956 | 126 | 50 | 1471 | 45 | 24 | 84624 |  |
| 204 | 23 | July   | 2019 | 9958 | 179 | 50 | 2057 | 56 | 9958 | 128 | 50 | 1474 | 44 | 24 | 84744 |  |
| 205 | 24 | July   | 2019 | 9958 | 179 | 50 | 2057 | 59 | 9958 | 128 | 50 | 1476 | 46 | 24 | 84792 |  |
| 206 | 25 | July   | 2019 | 9960 | 181 | 50 | 2059 | 61 | 9960 | 130 | 50 | 1471 | 47 | 24 | 84720 |  |
| 207 | 26 | July   | 2019 | 9961 | 182 | 50 | 2060 | 61 | 9961 | 131 | 50 | 1474 | 40 | 24 | 84816 |  |
| 208 | 27 | July   | 2019 | 9954 | 175 | 50 | 2053 | 63 | 9954 | 124 | 50 | 1472 | 43 | 24 | 84600 |  |
| 209 | 28 | July   | 2019 | 9957 | 178 | 50 | 2056 | 64 | 9957 | 127 | 50 | 1475 | 45 | 24 | 84744 |  |
| 210 | 29 | July   | 2019 | 9959 | 180 | 50 | 2058 | 57 | 9959 | 129 | 50 | 1477 | 47 | 24 | 84840 |  |
| 211 | 30 | July   | 2019 | 9960 | 180 | 50 | 2058 | 60 | 9960 | 129 | 50 | 1472 | 48 | 24 | 84720 |  |
| 212 | 31 | July   | 2019 | 9953 | 182 | 50 | 2060 | 62 | 9953 | 131 | 50 | 1475 | 41 | 24 | 84840 |  |
| 213 | 1  | August | 2019 | 9956 | 183 | 50 | 2061 | 62 | 9956 | 132 | 50 | 1473 | 44 | 24 | 84816 |  |
| 214 | 2  | August | 2019 | 9958 | 176 | 50 | 2054 | 64 | 9958 | 125 | 50 | 1476 | 46 | 24 | 84720 |  |
| 215 | 3  | August | 2019 | 9958 | 179 | 50 | 2057 | 65 | 9958 | 128 | 50 | 1478 | 48 | 24 | 84840 |  |

|     |    |           |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
|-----|----|-----------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--------------------------------|
| 216 | 4  | August    | 2019 | 9960 | 181 | 50 | 2059 | 58 | 9960 | 130 | 50 | 1473 | 49 | 24 | 84768 |                                |
| 217 | 5  | August    | 2019 | 9961 | 181 | 50 | 2059 | 61 | 9961 | 130 | 50 | 1476 | 42 | 24 | 84840 |                                |
| 218 | 6  | August    | 2019 | 9954 | 183 | 50 | 2061 | 63 | 9954 | 132 | 50 | 1474 | 45 | 24 | 84840 |                                |
| 219 | 7  | August    | 2019 | 9957 | 184 | 50 | 2062 | 63 | 9957 | 133 | 50 | 1477 | 47 | 24 | 84936 |                                |
| 220 | 8  | August    | 2019 | 9959 | 177 | 50 | 2055 | 65 | 9959 | 126 | 50 | 1479 | 49 | 24 | 84816 |                                |
| 221 | 9  | August    | 2019 | 9959 | 180 | 50 | 2058 | 66 | 9959 | 129 | 50 | 1474 | 50 | 24 | 84768 |                                |
| 222 | 10 | August    | 2019 | 9961 | 182 | 50 | 2060 | 59 | 9961 | 131 | 50 | 1477 | 43 | 24 | 84888 |                                |
| 223 | 11 | August    | 2019 | 9962 | 182 | 50 | 2060 | 62 | 9962 | 131 | 50 | 1475 | 46 | 24 | 84840 |                                |
| 224 | 12 | August    | 2019 | 9955 | 184 | 50 | 2062 | 64 | 9955 | 133 | 50 | 1478 | 48 | 24 | 84960 |                                |
| 225 | 13 | August    | 2019 | 9958 | 185 | 50 | 2063 | 64 | 9958 | 134 | 50 | 1480 | 50 | 8  | 28344 |                                |
| 226 | 14 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       | Over haul<br>during 40<br>days |
| 227 | 15 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 228 | 16 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 229 | 17 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 230 | 18 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 231 | 19 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 232 | 20 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 233 | 21 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 234 | 22 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 235 | 23 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 236 | 24 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 237 | 25 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 238 | 26 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 239 | 27 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 240 | 28 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 241 | 29 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 242 | 30 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 243 | 31 | August    | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 244 | 1  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 245 | 2  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 246 | 3  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |
| 247 | 4  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |                                |

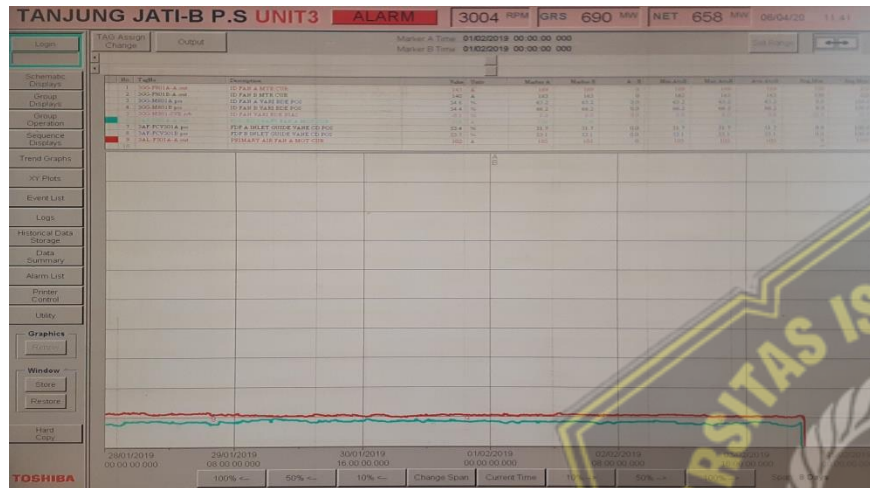
|     |    |           |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
|-----|----|-----------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--|
| 248 | 5  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 249 | 6  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 250 | 7  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 251 | 8  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 252 | 9  | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 253 | 10 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 254 | 11 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 255 | 12 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 256 | 13 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 257 | 14 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 258 | 15 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 259 | 16 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 260 | 17 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 261 | 18 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 262 | 19 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 263 | 20 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 264 | 21 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 265 | 22 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 266 | 23 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 267 | 24 | September | 2019 |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
| 268 | 25 | September | 2019 | 9962 | 189 | 50 | 2067 | 63 | 9962 | 138 | 50 | 1475 | 47 | 12 | 42504 |  |
| 269 | 26 | September | 2019 | 9962 | 191 | 50 | 2069 | 63 | 9962 | 140 | 50 | 1468 | 49 | 24 | 84888 |  |
| 270 | 27 | September | 2019 | 9964 | 192 | 50 | 2070 | 65 | 9964 | 141 | 50 | 1471 | 50 | 24 | 84984 |  |
| 271 | 28 | September | 2019 | 9965 | 190 | 50 | 2068 | 66 | 9965 | 139 | 50 | 1473 | 43 | 24 | 84984 |  |
| 272 | 29 | September | 2019 | 9958 | 192 | 50 | 2070 | 59 | 9958 | 141 | 50 | 1475 | 46 | 24 | 85080 |  |
| 273 | 30 | September | 2019 | 9961 | 193 | 50 | 2071 | 62 | 9961 | 142 | 50 | 1476 | 48 | 24 | 85128 |  |
| 274 | 1  | October   | 2019 | 9963 | 186 | 50 | 2064 | 64 | 9963 | 135 | 50 | 1469 | 50 | 24 | 84792 |  |
| 275 | 2  | October   | 2019 | 9964 | 189 | 50 | 2067 | 64 | 9964 | 138 | 50 | 1472 | 51 | 24 | 84936 |  |
| 276 | 3  | October   | 2019 | 9957 | 191 | 50 | 2069 | 66 | 9957 | 140 | 50 | 1474 | 44 | 24 | 85032 |  |
| 277 | 4  | October   | 2019 | 9960 | 191 | 50 | 2069 | 67 | 9960 | 140 | 50 | 1476 | 47 | 24 | 85080 |  |
| 278 | 5  | October   | 2019 | 9962 | 193 | 50 | 2071 | 60 | 9962 | 142 | 50 | 1477 | 49 | 24 | 85152 |  |
| 279 | 6  | October   | 2019 | 9962 | 194 | 50 | 2072 | 63 | 9962 | 143 | 50 | 1470 | 51 | 24 | 85008 |  |

|     |    |          |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
|-----|----|----------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--|
| 280 | 7  | October  | 2019 | 9964 | 187 | 50 | 2065 | 65 | 9964 | 136 | 50 | 1473 | 52 | 24 | 84912 |  |
| 281 | 8  | October  | 2019 | 9965 | 190 | 50 | 2068 | 65 | 9965 | 139 | 50 | 1475 | 45 | 24 | 85032 |  |
| 282 | 9  | October  | 2019 | 9958 | 192 | 50 | 2070 | 67 | 9958 | 141 | 50 | 1477 | 44 | 24 | 85128 |  |
| 283 | 10 | October  | 2019 | 9961 | 192 | 50 | 2070 | 68 | 9961 | 141 | 50 | 1478 | 46 | 24 | 85152 |  |
| 284 | 11 | October  | 2019 | 9963 | 194 | 50 | 2072 | 61 | 9963 | 143 | 50 | 1471 | 47 | 24 | 85032 |  |
| 285 | 12 | October  | 2019 | 9963 | 195 | 50 | 2073 | 64 | 9963 | 144 | 50 | 1474 | 40 | 24 | 85128 |  |
| 286 | 13 | October  | 2019 | 9965 | 188 | 50 | 2066 | 66 | 9965 | 137 | 50 | 1476 | 43 | 24 | 85008 |  |
| 287 | 14 | October  | 2019 | 9966 | 191 | 50 | 2069 | 66 | 9966 | 140 | 50 | 1478 | 45 | 24 | 85128 |  |
| 288 | 15 | October  | 2019 | 9959 | 193 | 50 | 2071 | 68 | 9959 | 142 | 50 | 1479 | 47 | 24 | 85200 |  |
| 289 | 16 | October  | 2019 | 9962 | 193 | 50 | 2071 | 69 | 9962 | 142 | 50 | 1472 | 48 | 24 | 85032 |  |
| 290 | 17 | October  | 2019 | 9964 | 195 | 50 | 2073 | 62 | 9964 | 144 | 50 | 1475 | 41 | 24 | 85152 |  |
| 291 | 18 | October  | 2019 | 9965 | 196 | 50 | 2074 | 65 | 9965 | 145 | 50 | 1477 | 44 | 24 | 85224 |  |
| 292 | 19 | October  | 2019 | 9958 | 189 | 50 | 2067 | 67 | 9958 | 138 | 50 | 1479 | 46 | 24 | 85104 |  |
| 293 | 20 | October  | 2019 | 9961 | 192 | 50 | 2070 | 67 | 9961 | 141 | 50 | 1480 | 48 | 24 | 85200 |  |
| 294 | 21 | October  | 2019 | 9963 | 194 | 50 | 2072 | 69 | 9963 | 143 | 50 | 1473 | 49 | 24 | 85080 |  |
| 295 | 22 | October  | 2019 | 9963 | 194 | 50 | 2072 | 70 | 9963 | 143 | 50 | 1476 | 42 | 24 | 85152 |  |
| 296 | 23 | October  | 2019 | 9965 | 196 | 50 | 2074 | 63 | 9965 | 145 | 50 | 1478 | 45 | 24 | 85248 |  |
| 297 | 24 | October  | 2019 | 9966 | 197 | 50 | 2075 | 66 | 9966 | 146 | 50 | 1480 | 47 | 24 | 85320 |  |
| 298 | 25 | October  | 2019 | 9959 | 190 | 50 | 2068 | 68 | 9959 | 139 | 50 | 1481 | 49 | 24 | 85176 |  |
| 299 | 26 | October  | 2019 | 9962 | 193 | 50 | 2071 | 68 | 9962 | 142 | 50 | 1474 | 50 | 24 | 85080 |  |
| 300 | 27 | October  | 2019 | 9964 | 195 | 50 | 2073 | 70 | 9964 | 144 | 50 | 1477 | 43 | 24 | 85200 |  |
| 301 | 28 | October  | 2019 | 9964 | 195 | 50 | 2073 | 60 | 9964 | 144 | 50 | 1479 | 46 | 24 | 85248 |  |
| 302 | 29 | October  | 2019 | 9966 | 197 | 50 | 2075 | 62 | 9966 | 146 | 50 | 1481 | 48 | 24 | 85344 |  |
| 303 | 30 | October  | 2019 | 9967 | 198 | 50 | 2076 | 63 | 9967 | 147 | 50 | 1482 | 50 | 24 | 85392 |  |
| 304 | 31 | October  | 2019 | 9960 | 191 | 50 | 2069 | 56 | 9960 | 140 | 50 | 1475 | 51 | 24 | 85056 |  |
| 305 | 1  | November | 2019 | 9963 | 194 | 50 | 2072 | 59 | 9963 | 143 | 50 | 1478 | 44 | 24 | 85200 |  |
| 306 | 2  | November | 2019 | 9965 | 196 | 50 | 2074 | 61 | 9965 | 145 | 50 | 1480 | 47 | 24 | 85296 |  |
| 307 | 3  | November | 2019 | 9966 | 196 | 50 | 2074 | 61 | 9966 | 145 | 50 | 1482 | 49 | 24 | 85344 |  |
| 308 | 4  | November | 2019 | 9959 | 198 | 50 | 2076 | 63 | 9959 | 147 | 50 | 1483 | 51 | 24 | 85416 |  |
| 309 | 5  | November | 2019 | 9962 | 199 | 50 | 2077 | 64 | 9962 | 148 | 50 | 1476 | 52 | 24 | 85272 |  |
| 310 | 6  | November | 2019 | 9964 | 192 | 50 | 2070 | 57 | 9964 | 141 | 50 | 1479 | 45 | 24 | 85176 |  |
| 311 | 7  | November | 2019 | 9964 | 195 | 50 | 2073 | 60 | 9964 | 144 | 50 | 1481 | 44 | 24 | 85296 |  |

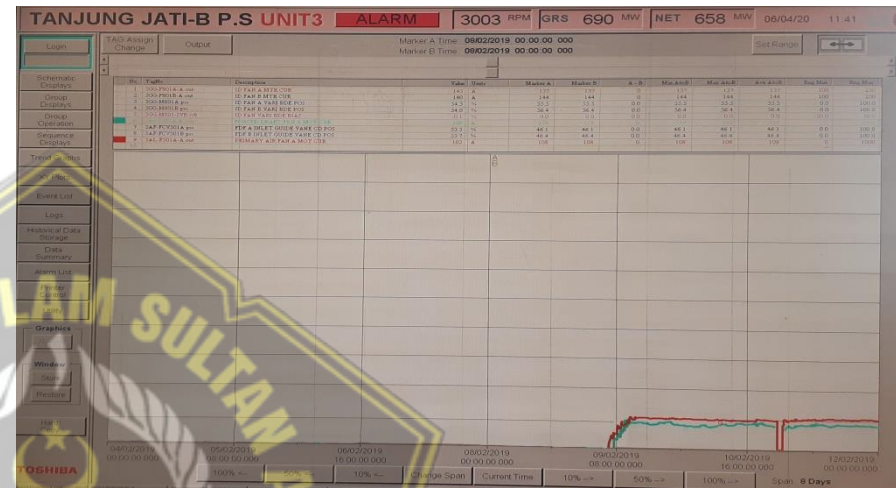
|     |    |          |      |      |     |    |      |    |      |     |    |      |    |    |       |  |
|-----|----|----------|------|------|-----|----|------|----|------|-----|----|------|----|----|-------|--|
| 312 | 8  | November | 2019 | 9966 | 197 | 50 | 2075 | 62 | 9966 | 146 | 50 | 1483 | 46 | 24 | 85392 |  |
| 313 | 9  | November | 2019 | 9967 | 197 | 50 | 2075 | 62 | 9967 | 146 | 50 | 1484 | 47 | 24 | 85416 |  |
| 314 | 10 | November | 2019 | 9960 | 199 | 50 | 2077 | 64 | 9960 | 148 | 50 | 1477 | 40 | 24 | 85296 |  |
| 315 | 11 | November | 2019 | 9963 | 200 | 50 | 2078 | 65 | 9963 | 149 | 50 | 1480 | 43 | 24 | 85392 |  |
| 316 | 12 | November | 2019 | 9965 | 193 | 50 | 2071 | 58 | 9965 | 142 | 50 | 1482 | 45 | 24 | 85272 |  |
| 317 | 13 | November | 2019 | 9965 | 196 | 50 | 2074 | 61 | 9965 | 145 | 50 | 1484 | 47 | 24 | 85392 |  |
| 318 | 14 | November | 2019 | 9967 | 198 | 50 | 2076 | 63 | 9967 | 147 | 50 | 1485 | 48 | 24 | 85464 |  |
| 319 | 15 | November | 2019 | 9968 | 198 | 50 | 2076 | 63 | 9968 | 147 | 50 | 1478 | 41 | 24 | 85296 |  |
| 320 | 16 | November | 2019 | 9961 | 200 | 50 | 2078 | 65 | 9961 | 149 | 50 | 1481 | 44 | 24 | 85416 |  |
| 321 | 17 | November | 2019 | 9964 | 201 | 50 | 2079 | 66 | 9964 | 150 | 50 | 1483 | 46 | 24 | 85488 |  |
| 322 | 18 | November | 2019 | 9966 | 194 | 50 | 2072 | 59 | 9966 | 143 | 50 | 1485 | 48 | 24 | 85368 |  |
| 323 | 19 | November | 2019 | 9967 | 197 | 50 | 2075 | 62 | 9967 | 146 | 50 | 1486 | 49 | 24 | 85464 |  |
| 324 | 20 | November | 2019 | 9960 | 199 | 50 | 2077 | 64 | 9960 | 148 | 50 | 1479 | 42 | 24 | 85344 |  |
| 325 | 21 | November | 2019 | 9963 | 199 | 50 | 2077 | 64 | 9963 | 148 | 50 | 1482 | 45 | 24 | 85416 |  |
| 326 | 22 | November | 2019 | 9965 | 201 | 50 | 2079 | 66 | 9965 | 150 | 50 | 1484 | 47 | 24 | 85512 |  |
| 327 | 23 | November | 2019 | 9965 | 202 | 50 | 2080 | 67 | 9965 | 151 | 50 | 1486 | 49 | 24 | 85584 |  |
| 328 | 24 | November | 2019 | 9967 | 195 | 50 | 2073 | 60 | 9967 | 144 | 50 | 1487 | 50 | 24 | 85440 |  |
| 329 | 25 | November | 2019 | 9968 | 198 | 50 | 2076 | 63 | 9968 | 147 | 50 | 1480 | 43 | 24 | 85344 |  |
| 330 | 26 | November | 2019 | 9961 | 200 | 50 | 2078 | 65 | 9961 | 149 | 50 | 1483 | 46 | 24 | 85464 |  |
| 331 | 27 | November | 2019 | 9964 | 200 | 50 | 2078 | 65 | 9964 | 149 | 50 | 1485 | 48 | 24 | 85512 |  |
| 332 | 28 | November | 2019 | 9966 | 202 | 50 | 2080 | 67 | 9966 | 151 | 50 | 1487 | 50 | 24 | 85608 |  |
| 333 | 29 | November | 2019 | 9966 | 203 | 50 | 2081 | 68 | 9966 | 152 | 50 | 1488 | 51 | 24 | 85656 |  |
| 334 | 30 | November | 2019 | 9968 | 196 | 50 | 2074 | 61 | 9968 | 145 | 50 | 1481 | 44 | 24 | 85320 |  |
| 335 | 1  | Desember | 2019 | 9969 | 199 | 50 | 2077 | 64 | 9969 | 148 | 50 | 1484 | 47 | 24 | 85464 |  |
| 336 | 2  | Desember | 2019 | 9962 | 201 | 50 | 2079 | 66 | 9962 | 150 | 50 | 1486 | 49 | 24 | 85560 |  |
| 337 | 3  | Desember | 2019 | 9965 | 201 | 50 | 2079 | 66 | 9965 | 150 | 50 | 1488 | 51 | 24 | 85608 |  |
| 338 | 4  | Desember | 2019 | 9967 | 203 | 50 | 2081 | 68 | 9967 | 152 | 50 | 1489 | 52 | 24 | 85680 |  |
| 339 | 5  | Desember | 2019 | 9968 | 204 | 50 | 2082 | 69 | 9968 | 153 | 50 | 1482 | 45 | 24 | 85536 |  |
| 340 | 6  | Desember | 2019 | 9961 | 197 | 50 | 2075 | 62 | 9961 | 146 | 50 | 1485 | 44 | 24 | 85440 |  |
| 341 | 7  | Desember | 2019 | 9964 | 200 | 50 | 2078 | 65 | 9964 | 149 | 50 | 1487 | 46 | 24 | 85560 |  |
| 342 | 8  | Desember | 2019 | 9966 | 202 | 50 | 2080 | 67 | 9966 | 151 | 50 | 1489 | 47 | 24 | 85656 |  |
| 343 | 9  | Desember | 2019 | 9966 | 202 | 50 | 2080 | 67 | 9966 | 151 | 50 | 1490 | 40 | 24 | 85680 |  |

|     |    |          |      |                  |                  |           |                    |                    |                  |                    |           |                    |                  |                |                         |                                              |
|-----|----|----------|------|------------------|------------------|-----------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------|--------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------------------|
| 344 | 10 | Desember | 2019 | 9968             | 204              | 50        | 2082               | 69                 | 9968             | 153                | 50        | 1483               | 43               | 24             | 85560                   |                                              |
| 345 | 11 | Desember | 2019 | 9969             | 205              | 50        | 2083               | 70                 | 9969             | 154                | 50        | 1486               | 45               | 24             | 85656                   |                                              |
| 346 | 12 | Desember | 2019 | 9962             | 198              | 50        | 2076               | 63                 | 9962             | 147                | 50        | 1488               | 47               | 24             | 85536                   |                                              |
| 347 | 13 | Desember | 2019 | 9965             | 201              | 50        | 2079               | 66                 | 9965             | 150                | 50        | 1490               | 48               | 24             | 85656                   |                                              |
| 348 | 14 | Desember | 2019 | 9967             | 203              | 50        | 2081               | 68                 | 9967             | 152                | 50        | 1491               | 41               | 24             | 85728                   |                                              |
| 349 | 15 | Desember | 2019 | 9967             | 203              | 50        | 2081               | 68                 | 9967             | 152                | 50        | 1484               | 44               | 24             | 85560                   |                                              |
| 350 | 16 | Desember | 2019 | 9969             | 205              | 50        | 2083               | 70                 | 9969             | 154                | 50        | 1487               | 46               | 24             | 85680                   |                                              |
| 351 | 17 | Desember | 2019 | 9970             | 206              | 50        | 2084               | 60                 | 9970             | 155                | 50        | 1489               | 48               | 24             | 85752                   |                                              |
| 352 | 18 | Desember | 2019 | 9963             | 199              | 50        | 2077               | 62                 | 9963             | 148                | 50        | 1491               | 49               | 24             | 85632                   |                                              |
| 353 | 19 | Desember | 2019 | 9966             | 202              | 50        | 2080               | 63                 | 9966             | 151                | 50        | 1492               | 42               | 24             | 85728                   |                                              |
| 354 | 20 | Desember | 2019 | 9968             | 204              | 50        | 2082               | 56                 | 9968             | 153                | 50        | 1485               | 45               | 24             | 85608                   |                                              |
| 355 | 21 | Desember | 2019 | 9969             | 204              | 50        | 2082               | 59                 | 9969             | 153                | 50        | 1488               | 47               | 24             | 85680                   |                                              |
| 356 | 22 | Desember | 2019 | 9962             | 206              | 50        | 2084               | 61                 | 9962             | 155                | 50        | 1490               | 49               | 24             | 85776                   |                                              |
| 357 | 23 | Desember | 2019 | 9965             | 207              | 50        | 2085               | 61                 | 9965             | 156                | 50        | 1492               | 50               | 24             | 85848                   |                                              |
| 358 | 24 | Desember | 2019 | 9967             | 200              | 50        | 2078               | 63                 | 9967             | 149                | 50        | 1493               | 43               | 20             | 71420                   |                                              |
| 359 | 25 | Desember | 2019 |                  |                  |           |                    |                    |                  |                    |           |                    |                  |                |                         | Shut down<br>for<br>electrical<br>effeciency |
| 360 | 26 | Desember | 2019 |                  |                  |           |                    |                    |                  |                    |           |                    |                  |                |                         |                                              |
| 361 | 27 | Desember | 2019 | 9969             | 205              | 50        | 2083               | 60                 | 9969             | 154                | 50        | 1491               | 50               | 14             | 50036                   |                                              |
| 362 | 28 | Desember | 2019 | 9962             | 207              | 50        | 2085               | 62                 | 9962             | 156                | 50        | 1493               | 51               | 24             | 85872                   |                                              |
| 363 | 29 | Desember | 2019 | 9965             | 208              | 50        | 2086               | 62                 | 9965             | 157                | 50        | 1494               | 44               | 24             | 85920                   |                                              |
| 364 | 30 | Desember | 2019 | 9967             | 201              | 50        | 2079               | 64                 | 9967             | 150                | 50        | 1487               | 47               | 24             | 85584                   |                                              |
| 365 | 31 | Desember | 2019 | 9968             | 204              | 50        | 2082               | 65                 | 9968             | 153                | 50        | 1490               | 49               | 24             | 85728                   |                                              |
|     |    |          |      | AVRG<br>VOLTAGE  | AVRG<br>CURRENT  | FREQ (HZ) | AVRG<br>POWER      | AVRG<br>DMPER      | AVRG<br>VOLTAGE  | AVRG<br>CRRENT     | FREQ (HZ) | AVRG<br>POWER      | AVRG<br>DAMPER   | TOTAL<br>HOURS | TOTAL<br>POWER<br>(KWH) |                                              |
|     |    |          |      | 9955,62          | 174,22           | 50,00     | 2052,2<br>2        | 63,35              | 9955,62          | 123,22             | 50,00     | 1467,6<br>3        | 45,88            | 7.286          | 25.645.62<br>7,1        |                                              |
|     |    |          |      | HIGHEST<br>VALUE | HIGHEST<br>VALUE |           | HIGHEST<br>T VALUE | HIGHEST<br>T VALUE | HIGHEST<br>VALUE | HIGHEST<br>T VALUE |           | HIGHEST<br>T VALUE | HIGHEST<br>VALUE |                |                         |                                              |
|     |    |          |      | 9970             | 208              |           | 2086               | 69,6               | 9970             | 157                |           | 1494               | 51,7             |                |                         |                                              |
|     |    |          |      | LOWEST<br>VALUE  | LOWEST<br>VALUE  |           | LOWEST<br>VALUE    | LOWEST<br>VALUE    | LOWEST<br>VALUE  | LOWEST<br>VALUE    |           | LOWEST<br>VALUE    | LOWEST<br>VALUE  |                |                         |                                              |
|     |    |          |      | 9940             | 141              |           | 2019               | 55,6               | 9940             | 90                 |           | 1448               | 38,7             |                |                         |                                              |

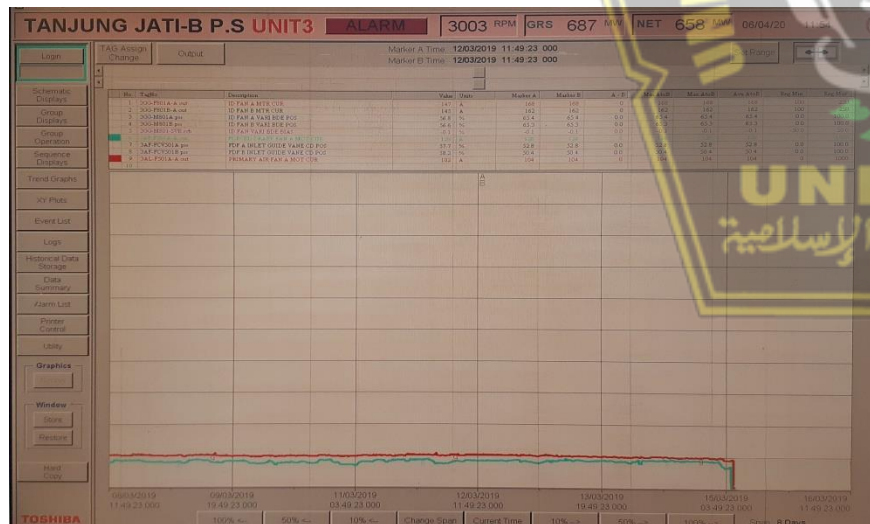
### Trend motor padam mengacu pada DCS monitoring



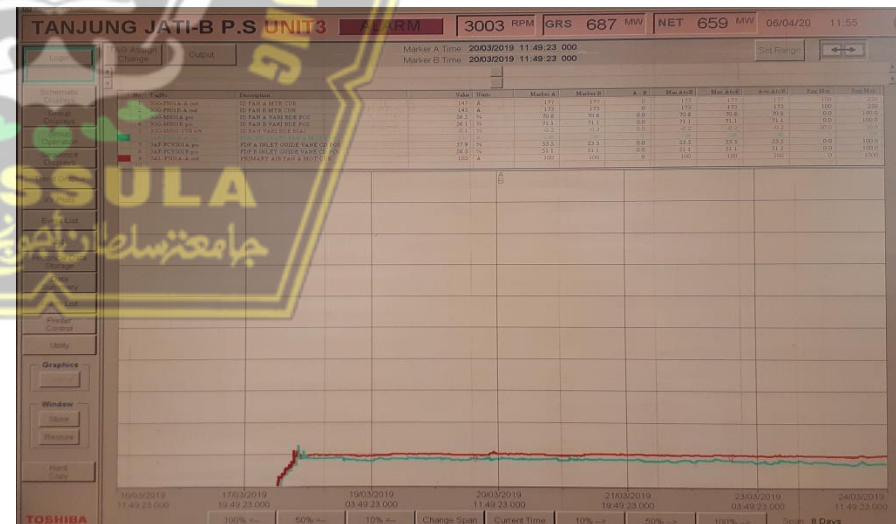
(1 Januari – 5 Pebruari 2019)



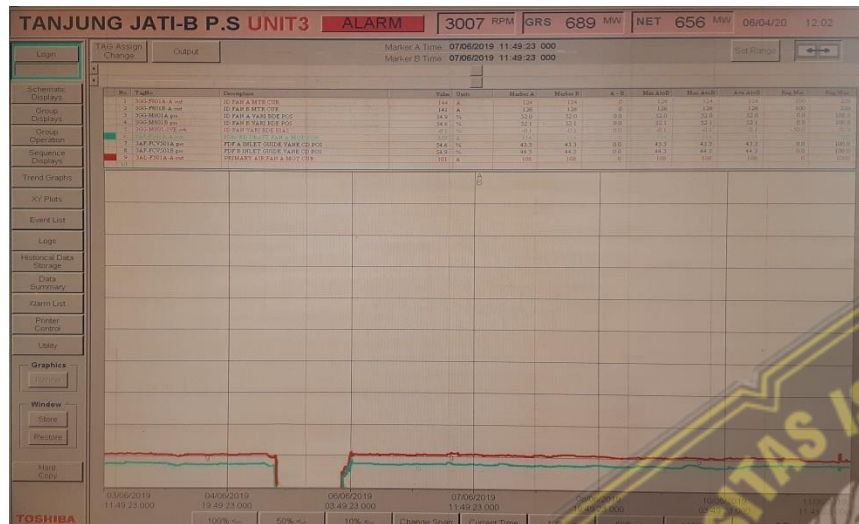
(4 Pebruari – 12 Pebruari 2019)



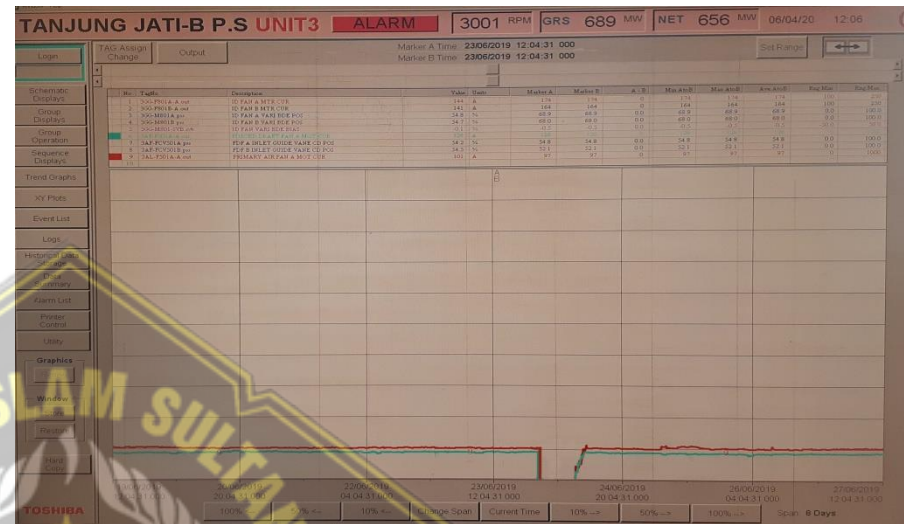
(8 Maret – 16 Maret 2019)



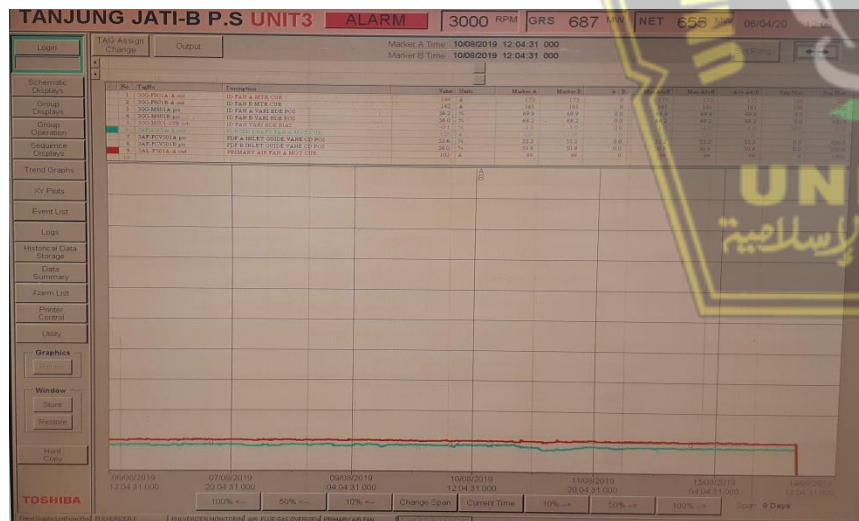
(16 Maret – 24 Maret 2019)



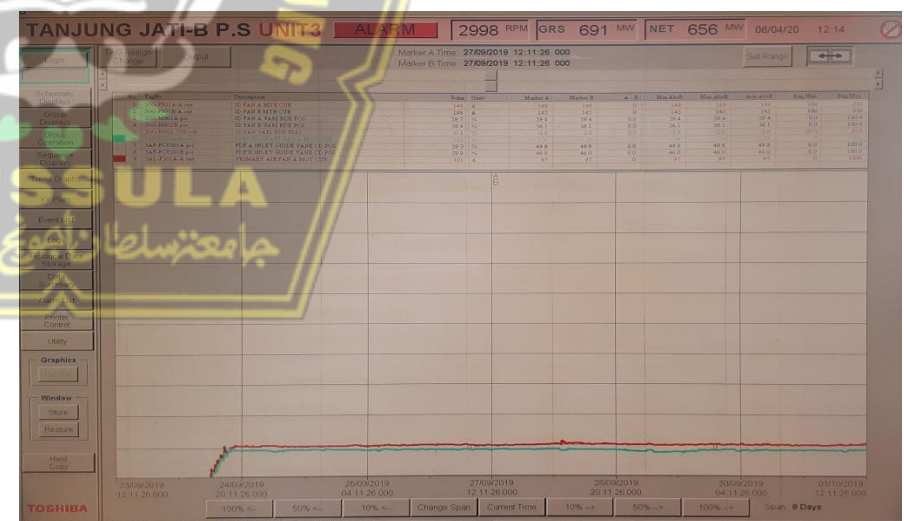
(3 Juni – 11 Juni 2019)



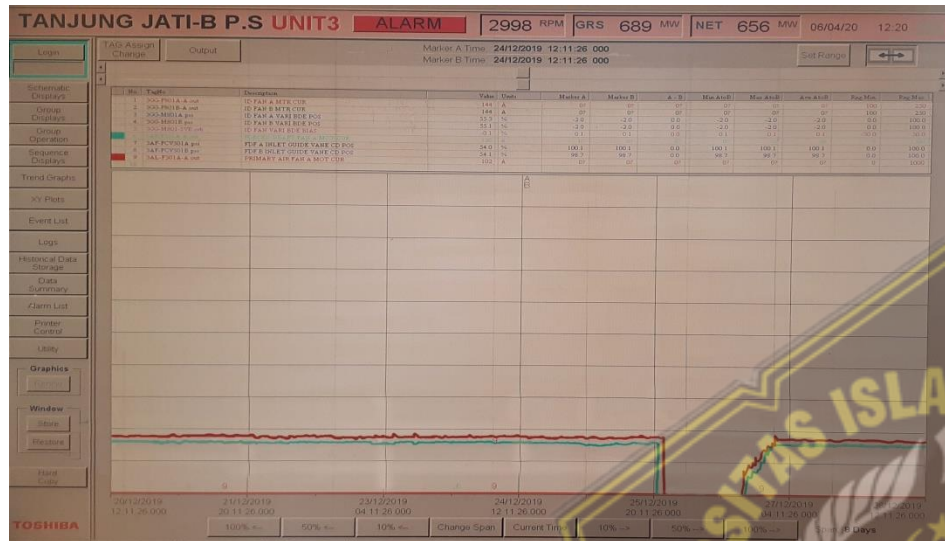
(19 – 27 Juni 2019)



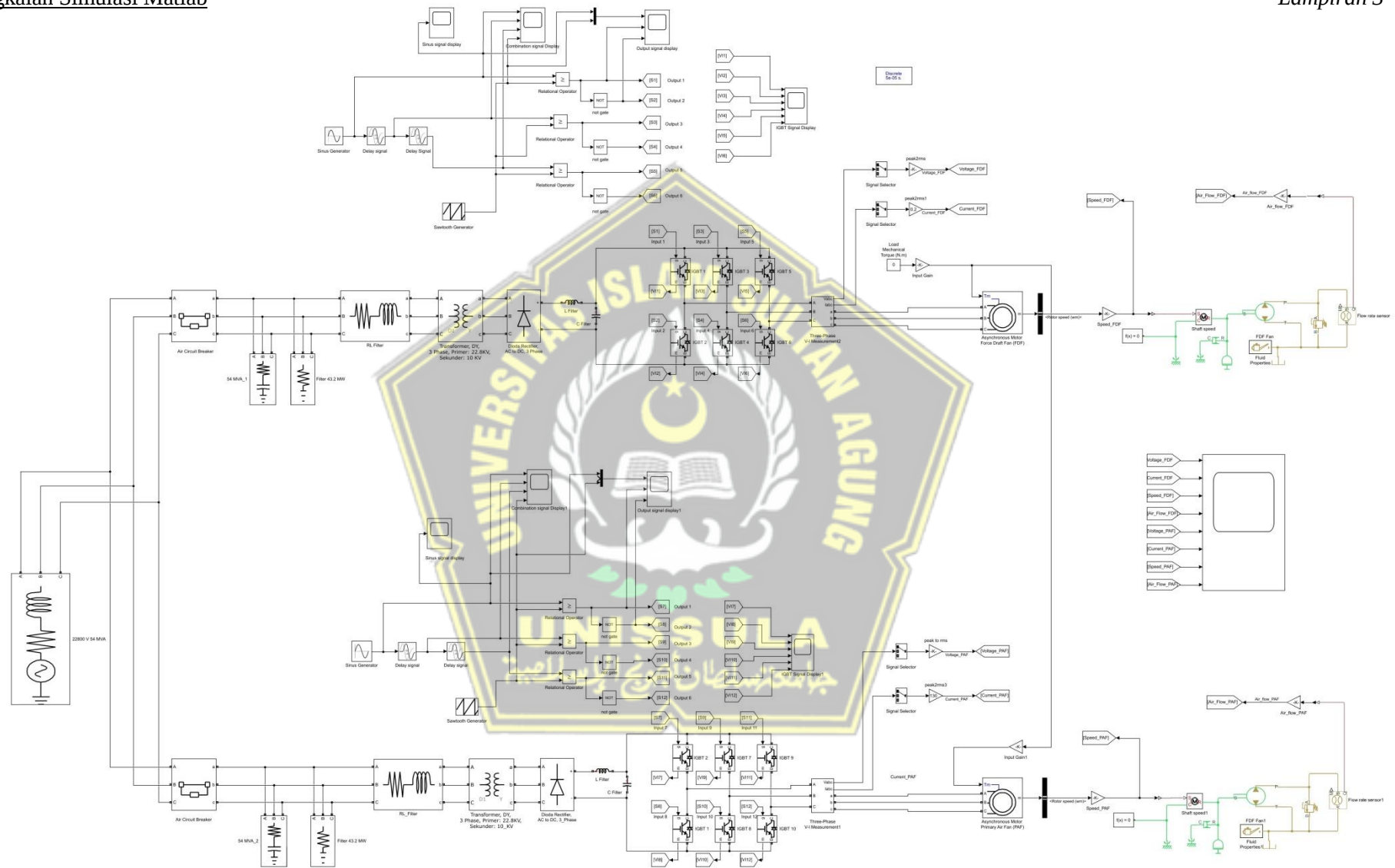
(6 Agustus – 14 Agustus 2019)



(23 September – 1 Oktober 2019)

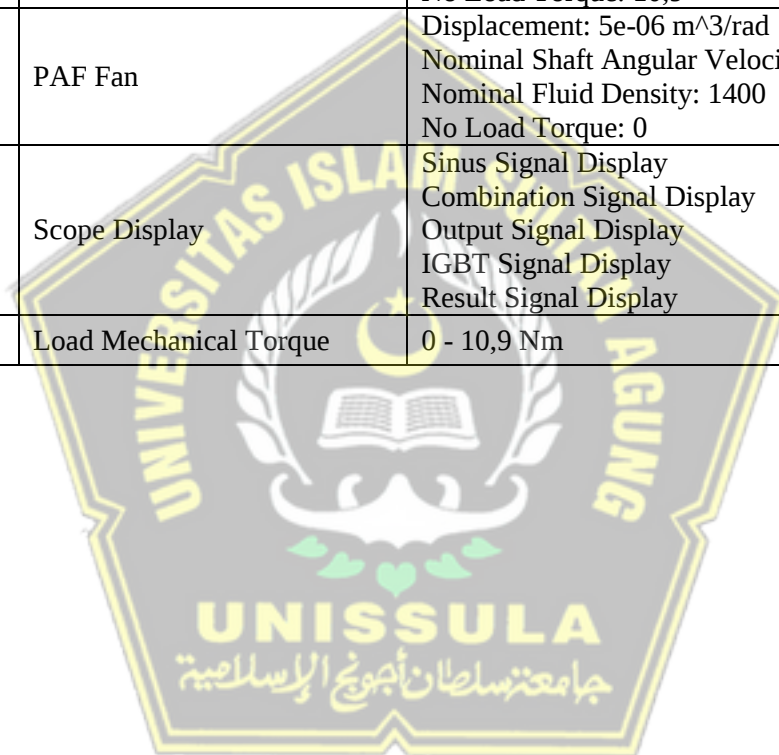


(20 Desember – 28 desember 2019)



| DAFTAR PARAMETER VFD |                                    |                                                                                                                         |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No                   | Nama Komponen                      | Input Parameter                                                                                                         |
| 1                    | Power Source                       | 3 Phase<br>Configuration: Yg<br>Vrms: 22800<br>Frequency (Hz): 50                                                       |
| 2                    | Air Circuit Breaker 1, 2           | 3 Phase<br>Breaker resistance: 0.01 Ohm                                                                                 |
| 3                    | RL Load 1,2                        | Configuration: Y (grounded)<br>Vrms: 22800<br>Frequency: 50<br>Active Power: 54e6                                       |
| 4                    | R Load 1,2                         | Configuration: Y (grounded)<br>Vrms: 22800<br>Frequency: 50<br>Active Power: 43,2e6                                     |
| 5                    | RL Filter 1,2                      | Branch type: RL<br>Resistance: 0.1e-3<br>Inductance: 20e8                                                               |
| 6                    | Transformer 1,2                    | Connection: DY<br>Nominal Power: 6e6<br>Primary Voltage: 22,8e6<br>Scndary Voltage: 10e6                                |
| 7                    | Dioda Rectifier                    | Bridge Arms: 3<br>Device: IGBT/Dioda                                                                                    |
| 8                    | L Filter 1,2                       | Inductance: 800 H                                                                                                       |
| 9                    | C Filter 1,2                       | Capacitnce: 75000 F                                                                                                     |
| 10                   | Sinus Generator 1,2                | Sine Type: Time Based<br>Amplitudo: 1<br>Frequency: $2 \cdot \pi \cdot 50$<br>(0 – 50 Hz)<br>Phase: 120 rad<br>Phase: 0 |
| 11                   | Delay Signal 1,3                   | Time Delay: 0,0067<br>Initial Buffer Size: 1024                                                                         |
| 12                   | Delay Signal 2,4                   | Time Delay: 0,013<br>Initial Buffer Size: 1024                                                                          |
| 13                   | Sawtooth Generator 1,2             | Frequency: 1e3<br>Phase: 120                                                                                            |
| 14                   | Relational Operator<br>1,2,3,4,5,6 | Relational: >=<br>Output Data Type: Boolean                                                                             |
| 15                   | Not Gate 1,2,3,4,5,6               | Operator: Not<br>Output Data Type: Boolean                                                                              |
| 16                   | IGBT<br>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 | Internal Resistance: 1e-3<br>Snubber Resistance: 1e5                                                                    |
| 17                   | V-I Measurement 1,2                | Measurement: Phase to Phase<br>Current Measurement: Yes                                                                 |
| 18                   | RC Filter 1,2                      | Resistance: 0,5 Ohm<br>Capasitance: 0,1 F                                                                               |
| 19                   | Asynchronous Motor FDF             | Rotor type: Squirel cage<br>Mechanical input: Torque Tm, Value 0 Nm<br>Nominal Power: 2052220 W<br>Voltage: 10000 V     |

|    |                        |                                                                                                                                                                     |
|----|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                        | Frequency: 50 Hz<br>Pole: 8<br>Slip: 0,0133                                                                                                                         |
| 20 | Asynchronous Motor PAF | Rotor type: Squirrel cage<br>Mechanical input: Torque Tm, Value 0 Nm<br>Nominal Power: 1467630 W<br>Voltage: 10000 V<br>Frequency: 50 Hz<br>Pole: 4<br>Slip: 0,0133 |
| 21 | Bus Selector 1,2       | Mechanical Motor Speed (Wm)                                                                                                                                         |
| 22 | Shaft Speed 1,2        | Velocity source, Torque Sensor                                                                                                                                      |
| 23 | FDF Fan                | Displacement: 5e-06 m <sup>3</sup> /rad<br>Nominal Shaft Angular Velocity: 750<br>Nominal Fluid Density: 14000000<br>No Load Torque: 10,9                           |
| 24 | PAF Fan                | Displacement: 5e-06 m <sup>3</sup> /rad<br>Nominal Shaft Angular Velocity: 1446<br>Nominal Fluid Density: 1400<br>No Load Torque: 0                                 |
| 25 | Scope Display          | Sinus Signal Display<br>Combination Signal Display<br>Output Signal Display<br>IGBT Signal Display<br>Result Signal Display                                         |
| 26 | Load Mechanical Torque | 0 - 10,9 Nm                                                                                                                                                         |



**REFERENSI HARGA VFD FDE**

<http://market.drivemotor.biz/2-mv-frequency-inverter/413-mv-vfd-3250kw-10kv.html>

Manufacture: **Advanced Electric System**

Country: Ukraine

**Type: JD-BP38-3250F (3250 KW, 10 KV)**



**Price: \$190,800.00 incl. tax**

---

Availability: In Stock

Quantity: 1 pcs

Medium voltage variable frequency drive 3250 kW, 10 kV for general industrial solutions

Multilevel Medium Voltage Variable Frequency Drive:

Output Power: 3250 kW;

Input/ Output Voltage: 10 kV;

Output Current: 235 A;

Dimensions: 4400x2420x1700 mm;

Weight: 17300 kg.

The JD-BP series medium voltage fvariable frequency drive designed and manufactured by Advanced Electric Systems LLC. has prominent performance and high reliability with low cost. It is of AC-DC-AC voltage type inverter with main loop of multi-level topology circuit. The control mode adopts SPWM technology. And the input uses isolated transformer of multiple technology, while the output is fulfilled by the solution of phase-shifting tandem multi-unit and medium voltage to medium voltage direct conversion.

Many years of technical experience enabled Advanced Electric Systems LLC. and its staff to have developed inverters with low harmonic content, which is in a leading level in domestic. Perfect output voltage sine wave provides the inverter with stability of motor's operation during the whole speed regulation range. The low input current harmonics almost has no any disturbance to the grid and this ensures the operation reliability of the surrounding electric equipments.

This series inverter can drive and regulate the medium voltage motor in almost all kinds of application area. The speed regulation is smooth, and the efficiency and power factor is enviable. In

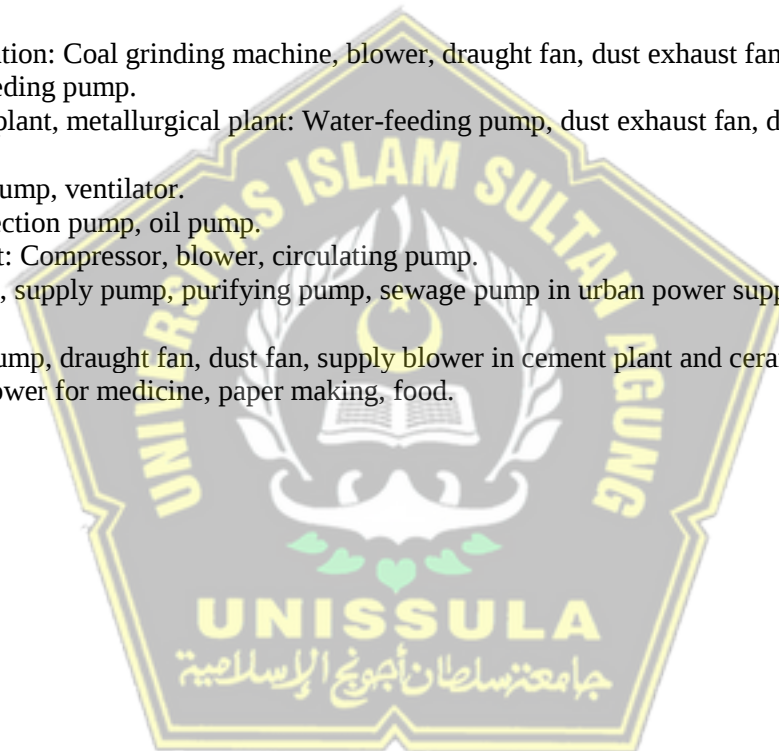
particular, nowadays the world is in short of energy. JD-BP variable frequency drive can bring great economic effect when used for blowers and pumps.

This series inverter consists of three main parts, transformer cabinet is on the left, and power unit cabinet is in the middle, while control cabinet is on the right. To improve the stability of the control circuit and to make the debugging more convenient, the control cabinet door was put on the right of the machine. This series product adopts cabinet structure with forced air cooling. And the big capacity machine adopts the cooling mode of water-cooled, air-closed circulation. The wiring terminal of input and output of the complete machine was placed on the lower left back. It is easy for connection.

#### Application area

JD-BP medium voltage frequency variable frequency drive has been widely used for the medium voltage motor's speed regulation, energy saving, soft starting and intelligent control in the area of power supply, iron and steel, HVAC, oil, construction, mine and etc.

- \*Heat power station: Coal grinding machine, blower, draught fan, dust exhaust fan, circulating pump, water-feeding pump.
- \*Iron and steel plant, metallurgical plant: Water-feeding pump, dust exhaust fan, draught fan, oxygenator.
- \*Mine: Slurry pump, ventilator.
- \*Oil: Water injection pump, oil pump.
- \*Chemical plant: Compressor, blower, circulating pump.
- \*draw off pump, supply pump, purifying pump, sewage pump in urban power supply and sewage disposal:
- \*The grinder, pump, draught fan, dust fan, supply blower in cement plant and ceramic plant
- \*others: The blower for medicine, paper making, food.



| Specification           |                                    |                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Item                    | Specification                      |                                                                                                                                                                                                               |
| Power input             | Input frequency                    | 50/60Hz±3%                                                                                                                                                                                                    |
|                         | Input voltage                      | 10 kV(-10% ~ +10%)<br>continuous running at the low power of -15% ~ -35%                                                                                                                                      |
|                         | Mains frequency tolerance          | ±5%                                                                                                                                                                                                           |
|                         | Input power factor                 | In the event of rated load > 0.97                                                                                                                                                                             |
|                         | Efficiency                         | In the event of rated load > 96 %( inverter part> 98%)                                                                                                                                                        |
| Control characteristics | control mode                       | SPWM; tandem unit; phase-shift superposed wave; ac-dc-ac; medium-voltage to medium-voltage; technology                                                                                                        |
|                         | Output frequency                   | 0 ~ 120Hz                                                                                                                                                                                                     |
|                         | Output frequency precision         | 0.01Hz                                                                                                                                                                                                        |
|                         | Overload capacity                  | 130%1minute, 150% 3s, 180% turning off                                                                                                                                                                        |
|                         | Acceleration and deceleration time | 0.1 ~ 6000s                                                                                                                                                                                                   |
|                         | Analog input                       | 4~20mA (3 ports)                                                                                                                                                                                              |
|                         | Analog output                      | 4~20mA (4 ways)                                                                                                                                                                                               |
|                         | PID                                | Standard PID function build-in                                                                                                                                                                                |
|                         | Host communication                 | RS-485 interface isolation                                                                                                                                                                                    |
|                         | Switching value, input/output      | 15 ways/15 ways                                                                                                                                                                                               |
| Protecting functions    |                                    | Over-current of the motor, Over-voltage of the inverter, Under-voltage of the inverter, Over-current of the cell, Over-voltage of the cell, Over-heat of the cell, Lack phase of cell, Communication failure. |
| Environment             | Operating environment temperature  | -10°C~+50°C, higher than 40°C, output power derated                                                                                                                                                           |
|                         | Storage temperature                | -20~+65°C                                                                                                                                                                                                     |
|                         | Cooling mode                       | Forced air cooling                                                                                                                                                                                            |
|                         | Environment humidity               | 20~90%RH, no condensation                                                                                                                                                                                     |
|                         | Altitude                           | < 1000 meters                                                                                                                                                                                                 |
|                         | Protection level                   | IP31                                                                                                                                                                                                          |

**REFERENSI HARGA VFD PAF**

<http://market.drivemotor.biz/2-mv-frequency-inverter/376-mv-vfd-2250kw-10kv.html>

Manufacture: **Advanced Electric System**

Country: Ukraine

Type: **JD-BP38-2250F (2250 KW, 10 KV)**



**Price: \$143,900.00 incl. tax**

Availability: In Stock

Quantity: 1 pcs

Multilevel Medium Voltage Variable Frequency Drive:

Output Power: 2250 kW;  
 Input/ Output Voltage: 10 kV;  
 Output Current: 162 A;  
 Dimensions: 4100x2420x1700 mm;  
 Weight: 7900 kg.

The JD-BP series medium voltage variable frequency drive designed and manufactured by Advanced Electric Systems LLC. has prominent performance and high reliability with low cost. It is of AC-DC-AC voltage type inverter with main loop of multi-level topology circuit. The control mode adopts SPWM technology. And the input uses isolated transformer of multiple technology, while the output is fulfilled by the solution of phase-shifting tandem multi-unit and medium voltage to medium voltage direct conversion.

Many years of technical experience enabled Advanced Electric Systems LLC. and its staff to have developed inverters with low harmonic content, which is in a leading level in domestic. Perfect output voltage sine wave provides the inverter with stability of motor's operation during the whole speed regulation range. The low input current harmonics almost has no any disturbance to the grid and this ensures the operation reliability of the surrounding electric equipments.

This series inverter can drive and regulate the medium voltage motor in almost all kinds of application area. The speed regulation is smooth, and the efficiency and power factor is enviable. In particular, nowadays the world is in short of energy. JD-BP variable frequency drive can bring great economic effect when used for blowers and pumps.

This series inverter consists of three main parts, transformer cabinet is on the left, and power unit cabinet is in the middle, while control cabinet is on the right. To improve the stability of the control circuit and to make the debugging more convenient, the control cabinet door was put on the right of the machine. This series product adopts cabinet structure with forced air cooling. And the big capacity machine adopts the cooling mode of water-cooled, air-closed circulation. The wiring terminal of input and output of the complete machine was placed on the lower left back. It is easy for connection.

#### Application area

JD-BP medium voltage frequency variable frequency drive has been widely used for the medium voltage motor's speed regulation, energy saving, soft starting and intelligent control in the area of power supply, iron and steel, HVAC, oil, construction, mine and etc.

- \*Heat power station: Coal grinding machine, blower, draught fan, dust exhaust fan, circulating pump, water-feeding pump.
- \*Iron and steel plant, metallurgical plant: Water-feeding pump, dust exhaust fan, draught fan, oxygenator.
- \*Mine: Slurry pump, ventilator.
- \*Oil: Water injection pump, oil pump.
- \*Chemical plant: Compressor, blower, circulating pump.
- \*draw off pump, supply pump, purifying pump, sewage pump in urban power supply and sewage disposal:
- \*The grinder, pump, draught fan, dust fan, supply blower in cement plant and ceramic plant
- \*others: The blower for medicine, paper making, food.



| Specification           |                                    |                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Item                    | Specification                      |                                                                                                                                                                                                               |
| Power input             | Input frequency                    | 50/60Hz±3%                                                                                                                                                                                                    |
|                         | Input voltage                      | 10 kV(-10% ~ +10%)<br>continuous running at the low power of -15% ~ -35%                                                                                                                                      |
|                         | Mains frequency tolerance          | ±5%                                                                                                                                                                                                           |
|                         | Input power factor                 | In the event of rated load > 0.97                                                                                                                                                                             |
|                         | Efficiency                         | In the event of rated load > 96 %( inverter part> 98%)                                                                                                                                                        |
| Control characteristics | control mode                       | SPWM; tandem unit; phase-shift superposed wave; ac-dc-ac; medium-voltage to medium-voltage; technology                                                                                                        |
|                         | Output frequency                   | 0 ~ 120Hz                                                                                                                                                                                                     |
|                         | Output frequency precision         | 0.01Hz                                                                                                                                                                                                        |
|                         | Overload capacity                  | 130%1minute, 150% 3s, 180% turning off                                                                                                                                                                        |
|                         | Acceleration and deceleration time | 0.1 ~ 6000s                                                                                                                                                                                                   |
|                         | Analog input                       | 4~20mA (3 ports)                                                                                                                                                                                              |
|                         | Analog output                      | 4~20mA (4 ways)                                                                                                                                                                                               |
|                         | PID                                | Standard PID function build-in                                                                                                                                                                                |
|                         | Host communication                 | RS-485 interface isolation                                                                                                                                                                                    |
|                         | Switching value, input/output      | 15 ways/15 ways                                                                                                                                                                                               |
| Protecting functions    |                                    | Over-current of the motor, Over-voltage of the inverter, Under-voltage of the inverter, Over-current of the cell, Over-voltage of the cell, Over-heat of the cell, Lack phase of cell, Communication failure. |
| Environment             | Operating environment temperature  | -10°C~+50°C, higher than 40°C, output power derated                                                                                                                                                           |
|                         | Storage temperature                | -20~+65°C                                                                                                                                                                                                     |
|                         | Cooling mode                       | Forced air cooling                                                                                                                                                                                            |
|                         | Environment humidity               | 20~90%RH, no condensation                                                                                                                                                                                     |
|                         | Altitude                           | < 1000 meters                                                                                                                                                                                                 |
|                         | Protection level                   | IP31                                                                                                                                                                                                          |