

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

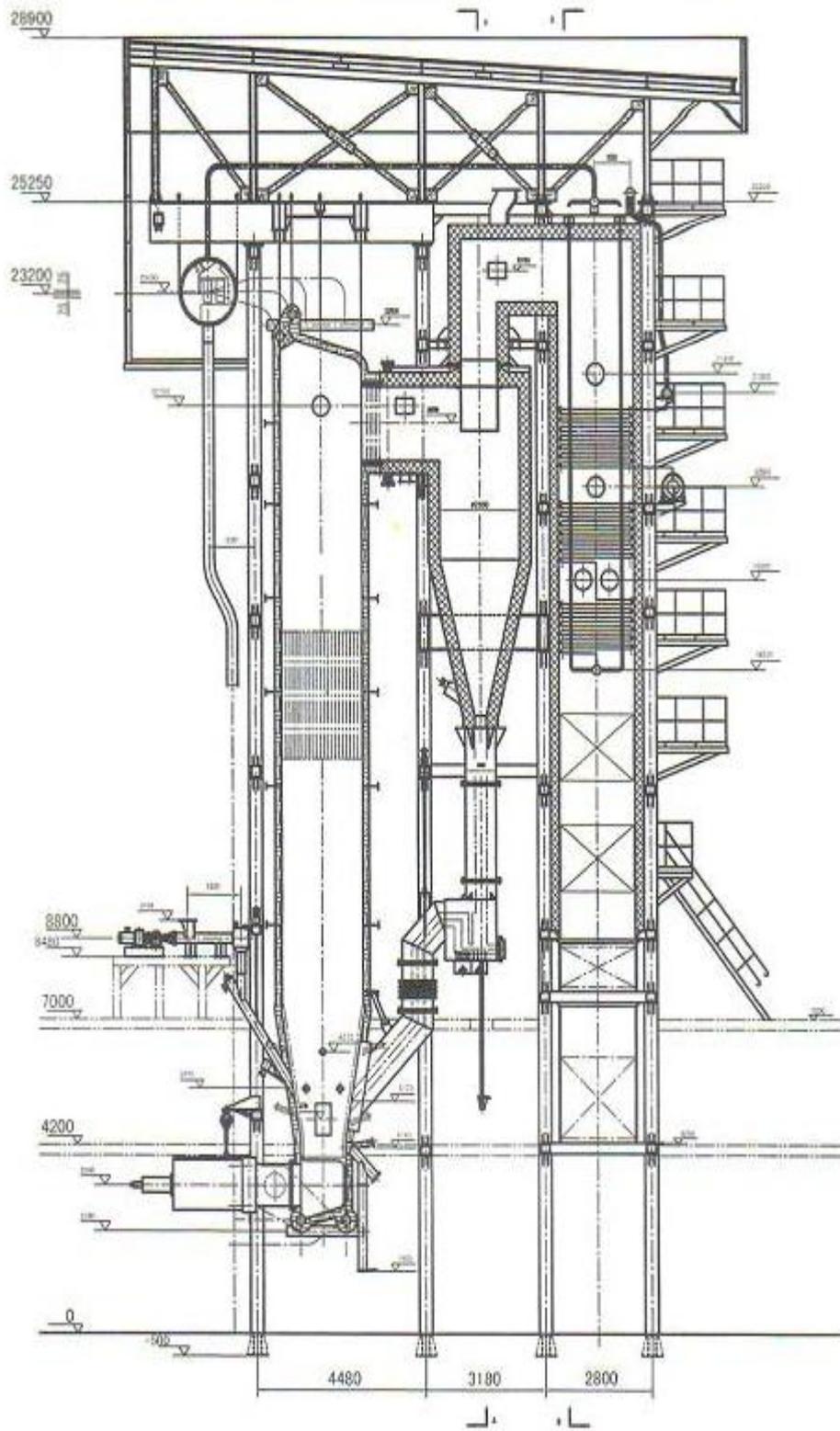
#### **4.1 Sistem Udara dan Gas Buang di PLTU Sebalang**

##### **4.1.1 Gambaran Umum PLTU Sebalang**

PLTU Sebalang memasok  $2 \times 100$  MW yang dihasilkan dari dua unit penghasil listriknya yang diberi nama Unit 1 dan Unit 2. Total 200 MW listrik tersebut dipasok untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik di wilayah Provinsi Lampung. Pembangunan PLTU Sebalang merupakan pelaksanaan Perpres No 71 tahun 2006 tentang penugasan kepada PT PLN untuk melakukan Percepatan Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik menggunakan batubara. Kontrak ditandatangani per 30 Oktober 2007 dengan memerlukan waktu 49 bulan membangun Unit I dan 52 bulan untuk membangun Unit 2.

PLTU Sebalang beroperasi sejak November 2011 untuk Unit I dan Februari 2012 untuk Unit 2. PLTU ini menjadikan batu bara sebagai bahan bakar utama. Batubara yang dipakai berkalori rendah dengan bahan tambahan batu kapur. Batu kapur mengontrol emisi gas buang sehingga udara pembakaran PLTU ini ramah lingkungan. Total kebutuhan capai 1.000.800 ton batu bara per tahun. Dengan dua pemasok batu bara yakni PT Hanson Energy dan PT PLN Batubara. Energi listrik dari pembangkit ini disalurkan ke jaringan transmisi melalui Gardu Induk (GI) Kalianda, GI Sribawono dan GI Sutami.

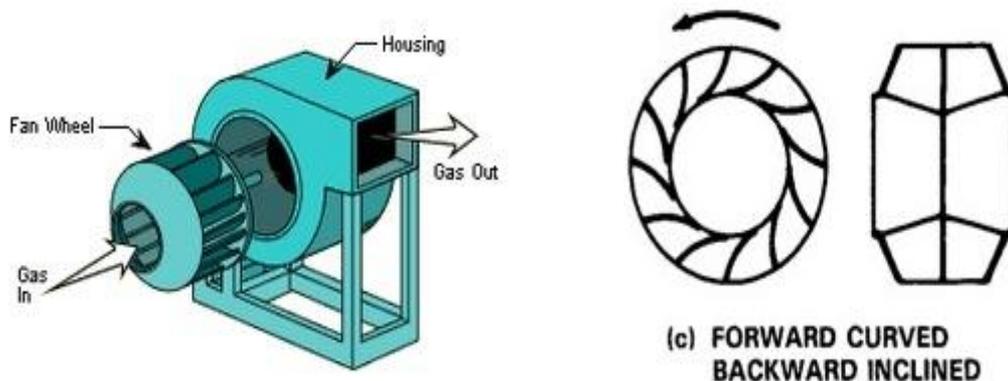
Sistem udara (*draft system*) dan gas buang (*flue gas system*) yang diaplikasikan di PLTU Sebalang pada umumnya sama dengan sistem udara dan gas buang PLTU lainnya yang ada di Indonesia. Pada PLTU Sebalang jenis boiler yang digunakan ialah *Circulating Fluidized Bed* (CFB), digunakannya boiler jenis tersebut dikarenakan CFB boiler lebih efisien dibanding jenis-jenis boiler lainnya di mana penggunaan minyak untuk *start up burner* tidak tergantung dari beban (MW) akan tetapi tergantung dari temperatur pada *furnace*.



**Gambar 4.1** *Layout Struktur CFB Boiler PLTU Sebalang*

Sistem gas buang (*flue gas system*) merupakan inti bahasan dalam tugas akhir ini. Sistem gas buang merupakan *output* dari proses pembakaran yang digunakan untuk mentransfer *flue gas* dari sisa hasil proses pembakaran *di boiler* menuju ke pipa-pipa uap serta elemen pemanas udara (*air heater*). Dalam sistem gas buang terdapat beberapa sub sistem yang menunjang operasi pembuangan gas sisa hasil proses pembakaran itu sendiri, yaitu *Air Preheater*, *Electrostatic Precipitator (ESP)*, *Induced Draft Fan (IDF)* dan *Stack/Chimney*.

Sub sistem *Induced Draft Fan (IDF)* lah yang akan menjadi titik fokus dalam tugas akhir ini. Seluruh *Induced Draft Fan (IDF)* yang diaplikasikan di PLTU Sebalang berjenis *Centrifugal Fan* dengan tipe *Blades Pitch (baling-baling) Backward Curved*. Penggunaan *centrifugal fan* dikarenakan pada volume udara yang sama, *centrifugal fan* menghasilkan tekanan udara *outlet* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *axial fan*. Pada dunia industri kipas ini sering disebut *blower*. Adapun penggunaan *blades pitch* tipe *Backward Curved* dikarenakan tipe tersebut tahan terhadap fluida-fluida gas yang bersifat abrasif terlebih lagi tipe ini dapat membersihkan permukaan *blades pitch* dengan sendirinya.



**Gambar 4.2** Desain *Centrifugal fan* dan *Backward Curved pitch*

(Sumber: [artikelteknologi.com](http://artikelteknologi.com))

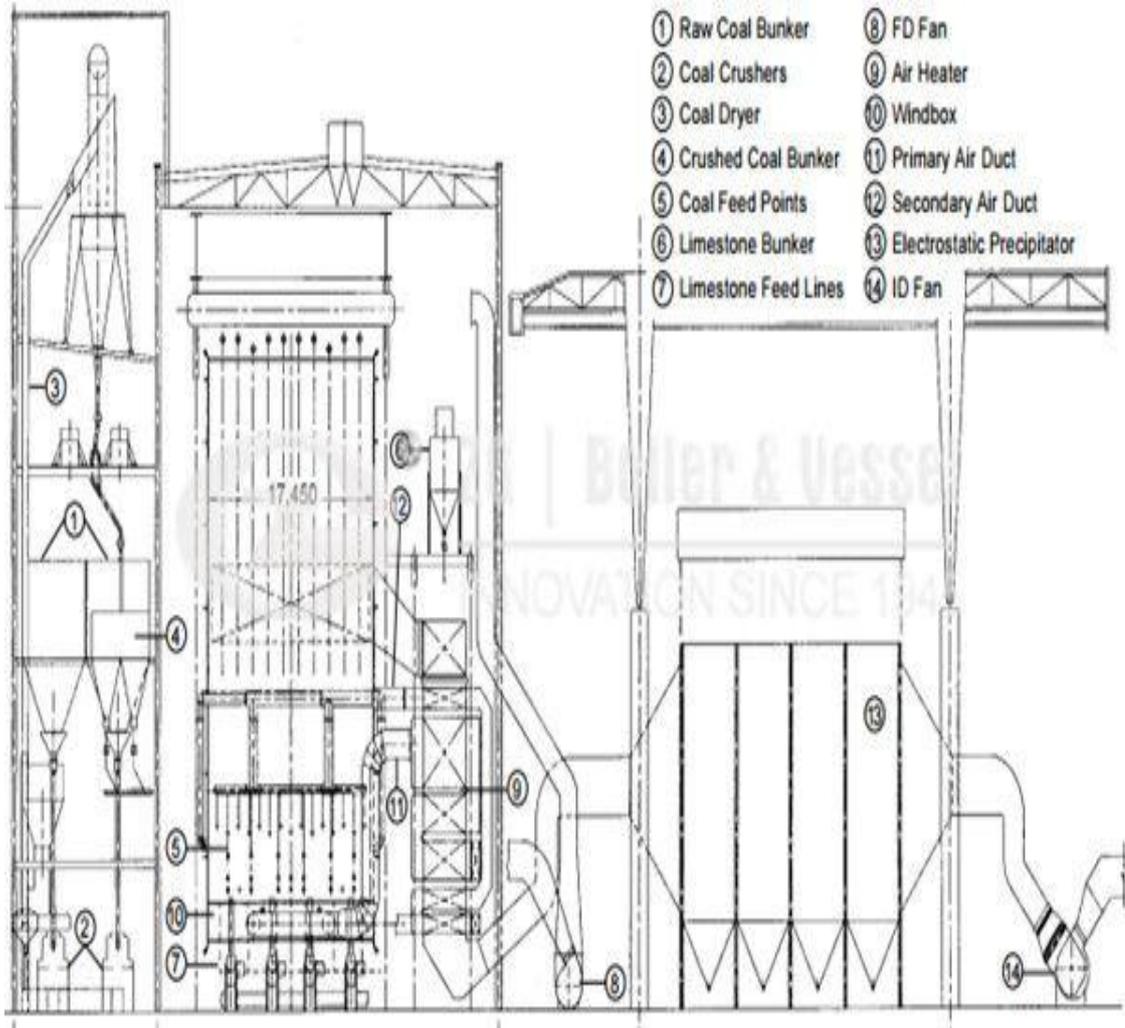
#### 4.1.2 Mekanisme Operasi *Flue Gas System* PLTU Sebalang Unit 2

Gas buang (*flue gas*) sisa hasil pembakaran di *furnace boiler* selanjutnya akan melalui tahap filtrasi dan distilasi di *Electrostatic Precipitator* (ESP) untuk meminimalisir semaksimal mungkin kandungan *fly ash*-nya. Perlu diketahui bahwa gas buang tersebut membawa *fly ash* (abu terbang) yang sangat berbahaya bagi lingkungan, oleh karena itu pada *Electrostatic Precipitator*, *fly ash* tersebut akan ditangkap oleh bagian *collecting plates* dan ditampung oleh *ash hopper* pada ESP, proses tersebut dinamakan *Ash Handling System*.

Gas buang yang tersisa dari proses filtrasi dan distilasi dari *fly ash* di ESP tadi akan diarahkan ke pipa-pipa (*ducting*) yang terhubung ke *Induced Draft Fan*. Pada pipa inlet dan outlet *Induced Draft Fan* terdapat sebuah *damper* yang dioperasikan dengan motor listrik. Motor listrik tersebut ialah *Motor Operated Valve* (MOV) yang berfungsi sebagai pengatur bukaan *damper* agar banyaknya volume *flue gas* yang lewat dari pipa inlet menuju *Induced Draft Fan* dapat dikontrol sesuai kebutuhan, sedangkan untuk *damper* yang ada di bagian outlet menyesuaikan bagian inletnya.

Selanjutnya *flue gas* tersebut akan dihisap oleh *induced draft fan*. *Induced draft fan* tersebut digerakkan dengan sebuah motor listrik 3 fasa, agar kinerja *induced draft fan* dan penggeraknya (motor listrik) efisien dipasang sebuah *variable fluid coupling* di antara poros (*shaft*) motor penggerak dan poros (*shaft*) *induced draft fan*. Pada *variable fluid coupling* tersebut, agar kecepatan putaran *induced draft fan* dapat bervariasi dipasanglah sebuah motor servo. Motor servo tersebut digunakan sebagai penggerak *scoop tube*, di mana *scoop tube* tersebut digunakan untuk mengatur jumlah fluida (oli) dari *oil chamber* menuju ke *turbine wheel*, sehingga kecepatan putaran *output shaft* (yang terhubung dengan *turbin wheel* dan *blades pitch induced draft fan*) dapat bervariasi sesuai dengan jumlah volume *flue gas* yang dihisap oleh *induced draft fan* sehingga kinerja motor dan *induced draft fan* itu sendiri dapat lebih efisien.

*Flue gas* yang telah dihisap oleh *induced draft fan* akan disalurkan ke *stack/chimney* melalui pipa-pipa (*ducting*) yang terhubung langsung dengan bagian outlet *induced draft fan*.



**Gambar 4.3** *Layout* mekanisme kerja *flue gas system* PLTU Sebalang



**Gambar 4.4** Digital Monitoring mekanisme kerja *flue gas system* PLTU Sebalang di *Control Room*

#### 4.1.3 Peralatan Penunjang Kinerja *Induced Draft Fan (IDF)* Unit 2 PLTU Sebalang

Setelah melewati proses *ash handling* di ESP, *flue gas* selanjutnya kan dihisap oleh *Induced Draft Fan* untuk dikeluarkan ke atmosfer melalui *stack*. Seperti yang telah dijelaskan pada poin sebelumnya, bahwa *Induced Draft Fan* tidak bekerja sendirian dalam proses mengirim *flue gas* ke *stack*, tetapi ada beberapa peralatan yang menunjang kinerja *Induced Draft Fan* agar lebih efektif, berikut di bawah ini akan dijelaskan spesifikasi dari komponen-komponen tersebut termasuk *Induced Draft Fan* itu sendiri:

##### 1. *Induced Draft Fan (IDF)*

*Induced Draft Fan (ID Fan)* adalah kipas (*fan*) yang menghisap udara dari dalam *boiler* keluar menuju *stack/chimney*. *ID Fan* berfungsi untuk mempertahankan *pressure* pada *furnace boiler* dan bekerja pada tekanan atmosfer rendah karena digunakan untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran (*flue gas*) pada *boiler* untuk selanjutnya dibuang melalui *stack/chimney*.

**Tabel 4.1** Spesifikasi *ID Fan*

Merk	XINXIANG SIMO BLOWER
Impeller Diameter	400-3000 mm
Speed of Main Shaft	$\leq 3500$ r/min
Pressure	$\leq 8369$ Pa
Volume Air Flow (capacity)	451808 m <sup>3</sup> /h
Blade Type	Backward curve
Power	1156 kW
Power Source	Electric motor
Frequency	50 Hz
Temperature at Inlet	$\leq 139$ °C
Efficiency	88,1 %
Material (Impeller, Air inlet, Case, Air damper, Main shaft)	Carbon Steel

## 2. Motor Listrik

Motor dalam dunia kelistrikan ialah mesin yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik bekerja dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik yang dihasilkan stator dari arus yang mengalir ke kumparan stator untuk menimbulkan gaya putar pada bagian rotor atau *shaft* (poros) yang terhubung dengan beban .

**Tabel 4.2** Spesifikasi Motor *ID Fan*

Merk	SIMO MOTOR
Serial Number	YKK6302-6
Tegangan Input / Max.Ampere	6 kV / 177,5 A
Power	1400 kW
Speed	990 rpm
Power Factor ( $\cos \varphi$ )	0,86
Frekuensi / Indeks Proteksi (IP)	50 Hz / IP 54

### 3. Motor Operated Valve (MOV)

Peran MOV di *ID Fan* hanyalah sebatas aktuator saja, dalam hal ini MOV akan menggerakkan *dampner* yang terpasang dibagian inlet *ID Fan*. Tidak seperti aktuator *valve* konvensional, MOV dapat digerakkan oleh sebuah motor listrik 1 phase (220 VAC) maupun 3 phase (380 VAC) tergantung pabrikasi MOV yang digunakan. MOV hanya akan membuka dan menutup *dampner* saat menerima sinyal analog ataupun digital dari *controller* yang ada di ruang DCS (*Distributed Control System*) atau biasa disebut *Control Room* (CR).

**Tabel 4.3** Spesifikasi MOV *ID Fan*

Merk	TIANJIN JINDA
Serial Number	DKJ-7100 DM
Tegangan Input	380 V AC
Output Torque	4000 Nm
Frequency	50 Hz
Input Signal	4-20 mA DC
Indeks Proteksi	IP67

### 4. Variable Fluid Coupling (VFC)

*Variable fluid coupling* atau *Hydraulic coupling* merupakan *coupling* yang memanfaatkan fluida (oli) sebagai media untuk mentransmisikan energi kinetik dari peralatan penggerak (*drive machine*) menuju peralatan yang digerakkan (*driven machine*) tanpa adanya kontak langsung di antara 2 peralatan tersebut. Motor listrik (dalam kebanyakan kasus, bertindak sebagai *drive component*) yang terhubung dengan *pump wheel* akan menghasilkan tenaga hidrolis yang kemudian tenaga tersebut akan menggerakkan fluida (oli) dari *oil chamber*, karena aksi sentrifugal (jenis baling-baling yang digunakan) oleh *pump wheel*, fluida akan bergerak menuju *turbine wheel*. *Turbine wheel* akan menyerap tenaga kinetik dari fluida tadi dan akan menghasilkan torsi yang akan selalu sama dengan torsi input, sehingga *output shaft* yang terhubung dengan *turbine wheel* akan berputar untuk menggerakkan *blades pitch* IDF. Pada *variable fluid coupling* tersebut, agar

kecepatan putaran *induced draft fan* dapat bervariasi namun kecepatan putaran motor konstan dipasanglah sebuah motor servo. Motor servo tersebut digunakan sebagai penggerak *scoop tube*, di mana *scoop tube* tersebut digunakan untuk mengatur volume fluida (oli) dari *oil chamber* menuju ke *turbine wheel*, sehingga kecepatan putaran *output shaft* (yang terhubung dengan *turbin wheel* dan *blades pitch induced draft fan*) dapat bervariasi sesuai dengan jumlah volume *flue gas* yang dihisap oleh *induced draft fan* sehingga kinerja motor dan *induced draft fan* itu sendiri dapat lebih efisien. Semakin banyak volume oli dari *oil chamber* menuju ke *turbine wheel*, maka putaran *turbine wheel* tersebut semakin cepat, karena putaran *turbine wheel* semakin cepat maka putaran *output shaft* yang satu poros dengan *blades pitch* IDF semakin cepat, sebaliknya jika volume oli dari *oil chamber* menuju ke *turbine wheel* lebih sedikit, maka putaran *turbine wheel* tersebut semakin lambat, karena putaran *turbine wheel* semakin lambat maka putaran *output shaft* yang satu poros dengan *blades pitch* IDF semakin lambat. Berikut di bawah ini spesifikasi motor servo tersebut.

**Tabel 4.4** Spesifikasi *Variable fluid coupling ID Fan*

Merk	LUSHUN MOTOR
Serial Number	ZKJ-320
Output Torque	250 Nm
Input Signal	4-20 mA DC
Tegangan Input	220 V AC
Duration Per Turn	100 s
Effective Displacement	0°-90°
Frequency	50 Hz

## **4.2 Analisis Pengoptimalisasian Kinerja *Induced Draft Fan* di PLTU Sebalang Unit 2**

Pada analisis mengenai sistem Pembuangan *flue gas* pada *Induced Draft Fan* (IDF) di PLTU Sebalang unit 2 ini menggunakan data operasi harian *Induced Draft Fan* yang terdapat pada PLTU Sebalang unit 2. Data tersebut terkait dengan bukaan *damper inlet* IDF, arus motor IDF, bukaan *variable fluid coupling*, *kecepatan putaran IDF*, vibrasi *body* motor IDF dan temperatur *body* motor IDF. Data yang dianalisis dalam pembahasan kali ini yaitu data operasi harian *Induced Draft Fan* yang terdapat pada PLTU Sebalang unit 2 yang diperoleh dan diamati selama 14 hari dimulai dengan tanggal 23 April 2018 hingga 6 Mei 2018. Berikut adalah data rata-rata operasi harian PLTU Sebalang unit 2.

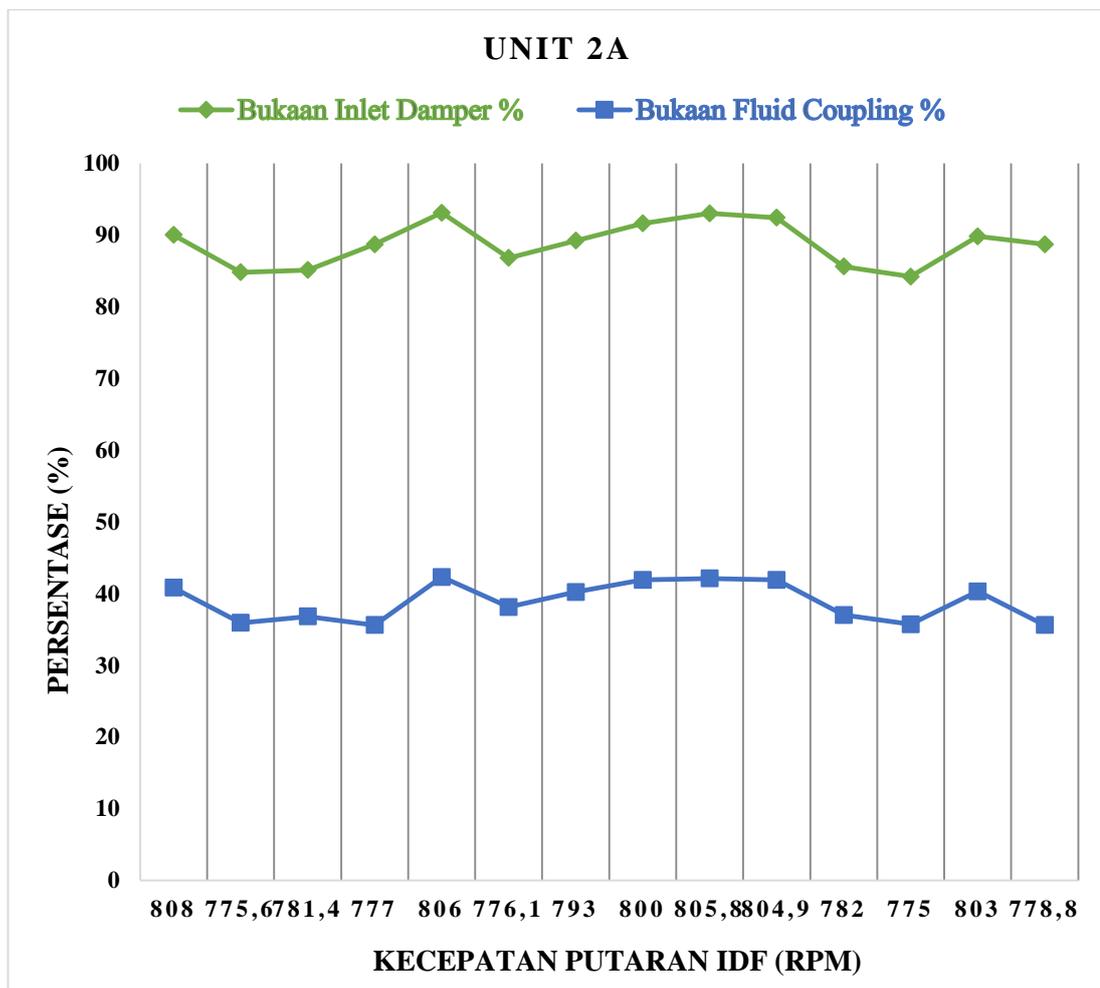
Data pada tabel 4.5 di bawah diambil pada pukul 10.00 WIB setiap harinya selama 14 hari berturut-turut. Semua variabel data pada tabel 4.5 di bawah akan dianalisis satu persatu, mulai dari hubungan antara satu variabel data dengan satu variabel data lainnya maupun hubungan antara satu variabel data dengan beberapa variabel data lainnya. Untuk mempermudah proses analisis tersebut maka akan dibuat grafik hubungan dari variabel-variabel data tersebut.

**Tabel 4.5** Data Operasi Harian PLTU Sebalang Unit 2 23 April - 6 Mei 2018

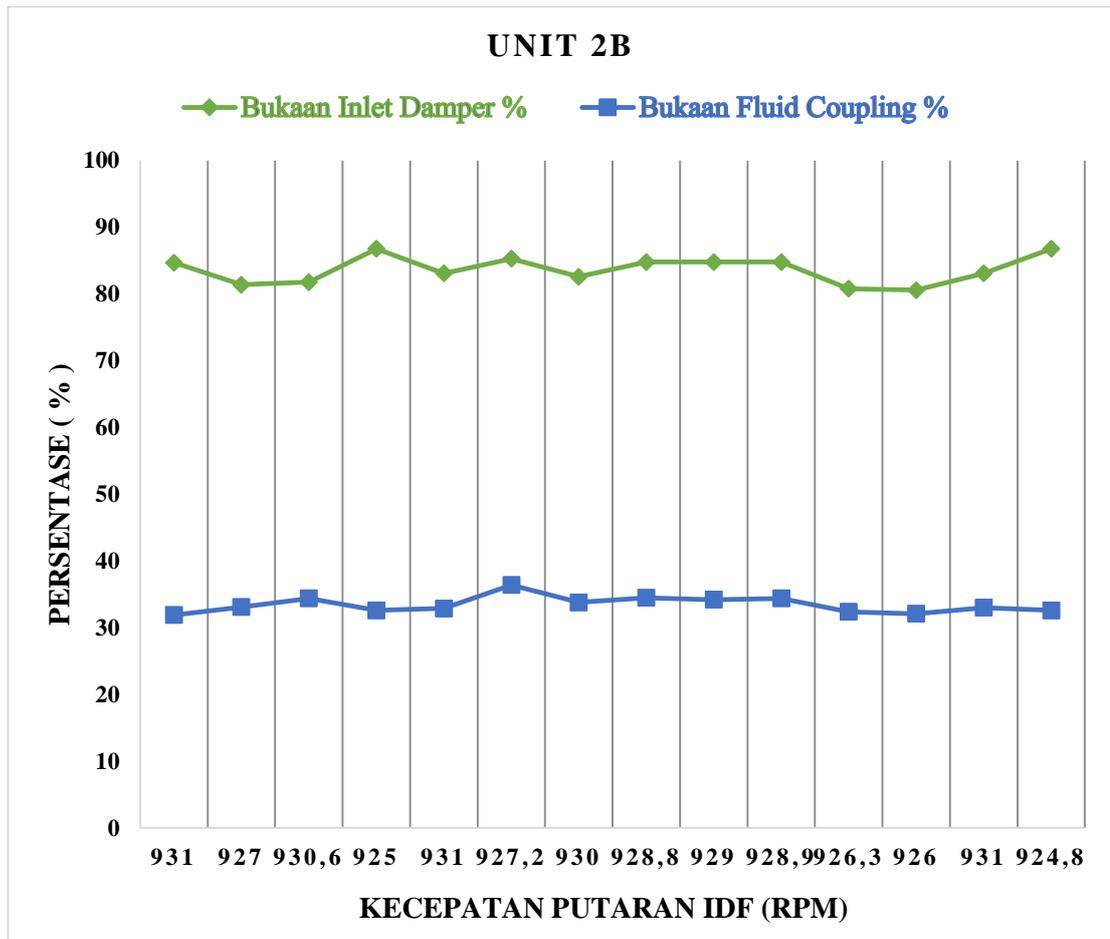
Hari Ke	Bukaan <i>Inlet Damper</i> (%)		Arus Motor ID Fan (A)		Bukaan <i>Variable Fluid Coupling</i> (%)		Kecepatan Putaran ID Fan (rpm)		Vibrasi <i>Bearing</i> ID Fan (mm/s)				Temperatur Motor ID Fan (°C)		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	Posisi (A/B)	Status	A	B	Status
	1	90	84,7	94,4	124,2	40,8	31,9	808	931	3,3	4,3	3-A/5-A	Normal	53	59
2	84,8	81,4	89,1	126,4	35,9	33,1	775,6	927	2,6	3,8	2-A/3-H	Normal	50	54	Normal
3	85,1	81,8	88,9	125,6	36,8	34,4	781,4	930,6	2,8	4,3	3-A/3-A	Normal	51	58	Normal
4	88,7	86,8	90,2	127	35,6	32,6	777	925	2,8	3,4	4-A/1-V	Normal	52	53	Normal
5	93,1	83,1	96	124,6	42,3	32,9	806	931	3,1	3,9	2-H/5-H	Normal	55	57	Normal
6	86,8	85,3	89,5	126,8	38,1	36,4	776,1	927,2	2,7	3,7	2-A/4-A	Normal	51	56	Normal
7	89,2	82,6	90,7	126,3	40,2	33,8	793	930	2,8	3,9	5-V/3-A	Normal	53	54	Normal
8	91,6	84,8	91,4	127,2	41,9	34,5	800	928,8	3,2	4,1	4-A/3-H	Normal	54	58	Normal
9	93	84,8	95,7	127,4	42,1	34,2	805,8	929	3,5	4,3	1-A/5-V	Normal	56	60	Normal
10	92,4	84,8	95	127,2	41,9	34,4	804,9	928,9	3,4	4,4	5-H/5-A	Normal	55	58	Normal
11	85,6	80,8	89,1	125,8	37	32,4	782	926,3	2,8	3,3	4-H/4-H	Normal	52	55	Normal
12	84,2	80,6	88,6	125,5	35,7	32,1	775	926	2,1	2,9	2-A/4-V	Normal	51	56	Normal
13	89,8	83,1	94	124,5	40,3	33	803	931	3,1	4,1	4-A/3-H	Normal	50	55	Normal
14	88,7	86,8	90,6	127,2	35,6	32,6	778,8	924,8	2,8	3,2	4-V/5-H	Normal	54	59	Normal

#### 4.2.1 Hubungan Antara Kecepatan Putaran IDF dengan Bukaannya *Inlet Damper* dan Bukaannya *Variable Fluid Coupling*

Agar mempermudah dalam proses analisis, maka data dari tabel 4.5 dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran IDF per menit (rpm) terhadap bukanya *inlet damper* (%) dan bukanya *variable fluid coupling* (%) baik pada IDF 2A maupun IDF 2B.



**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Kecepatan Putaran IDF 2A terhadap Bukaannya *Inlet Damper* dan Bukaannya *Variable Fluid Coupling* IDF 2A



**Gambar 4.6** Grafik Hubungan Kecepatan Putaran IDF 2B terhadap Bukaan *Inlet Damper* dan Bukaan *Variable Fluid Coupling* IDF 2B

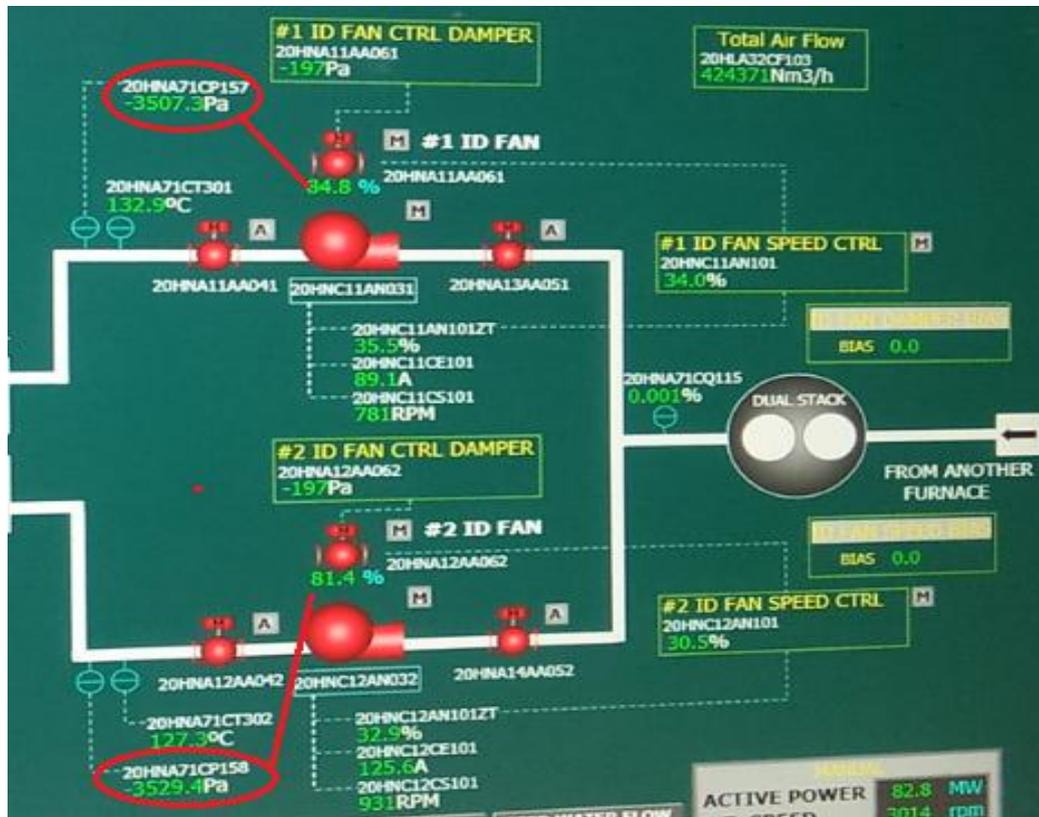
Berdasarkan grafik 4.5 dan 4.6 di atas dapat dicermati bahwa persentase bukaan *inlet damper* IDF 2A yang berkisar antara 84,2 % hingga 93 % selalu lebih besar daripada bukaan *inlet damper* pada IDF 2B yang berkisar antara 80,6 % hingga 86,8 %. Hal tersebut dikarenakan perbedaan volume dan tekanan *flue gas* yang dihasilkan oleh *furnace* IDF 2A dan IDF 2B. Oleh karena *furnace* IDF 2A, jumlah batu bara yang digunakan lebih banyak sehingga volume *flue gas* yang dihasilkan pun semakin banyak, maka dari itu volume *flue gas* yang akan didistilasi oleh ESP dan dihisap oleh IDF 2A pun semakin banyak. Perlu diketahui bahwa besar kecilnya bukaan *inlet damper* diatur oleh MOV yang dikontrol langsung dari *Control Room* (CR). Pada CR, volume dan tekanan *flue gas* yang berhembus dari *outlet ducting* ESP akan terdeteksi, sehingga teknisi/operator CR akan

mengirimkan sinyal input digital ke MOV untuk menggerakkan *inlet damper* sesuai dengan *volume flue gas* yang terdeteksi tadi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase bukaan *inlet damper* maka persentase bukaan *variable fluid coupling* juga tinggi, namun kecepatan putaran IDF akan semakin rendah. Hal tersebut dikarenakan, jika persentase bukaan *inlet damper* besar maka *volume flue gas* yang berhembus juga besar. Menurut *Robert Boyle* (1627-1691) dengan volume yang besar maka tekanannya menjadi kecil, oleh karena tekanannya kecil maka kecepatan putarannya harus rendah yang artinya kecepatan putaran IDF harus sesuai dengan tekanan *flue gas* yang berhembus. Berdasarkan nilai tekanan yang kecil tadi, maka teknisi/operator CR akan mengirimkan sinyal input digital ke motor servo pada *variable fluid coupling*, supaya mengatur kecepatan putaran *output shaft* ke level yang rendah agar sesuai dengan tekanan yang terdeteksi di CR dengan cara menaikkan persentase bukaan *variable fluid coupling* sehingga *scoop tube* akan bergerak mendekati celah *oil chamber* untuk membatasi volume oli yang menuju *turbine wheel* yang terhubung dengan *output shaft* lebih sedikit. Sebaliknya, jika persentase bukaan *inlet damper* rendah maka *volume flue gas* yang berhembus juga sedikit. Menurut *Robert Boyle* (1627-1691) dengan volume yang sedikit maka tekanannya menjadi besar, oleh karena tekanannya tinggi maka kecepatan putarannya harus tinggi. Berdasarkan nilai tekanan yang tinggi tadi, maka teknisi/operator CR akan mengirimkan sinyal input digital ke motor servo pada *variable fluid coupling*, supaya mengatur kecepatan putaran *output shaft* ke level yang tinggi agar sesuai dengan tekanan yang terdeteksi di CR dengan cara menurunkan persentase bukaan *variable fluid coupling* sehingga *scoop tube* akan bergerak menjauhi celah *oil chamber* untuk membatasi volume oli yang menuju *turbine wheel* yang terhubung dengan *output shaft* lebih banyak.

Menurut *manual book variable fluid coupling* PLTU Sebalang, jika semakin tinggi persentase bukaan *variable fluid coupling* itu artinya *scoop tube* bergerak mendekati (menutup) celah yang digunakan *oil chamber* untuk mensirkulasikan oli ke *turbine wheel*, karena celah yang digunakan oleh *oil chamber* tadi sedikit (tergantung persentase bukaan) tertutup maka volume oli yang tersirkulasi ke

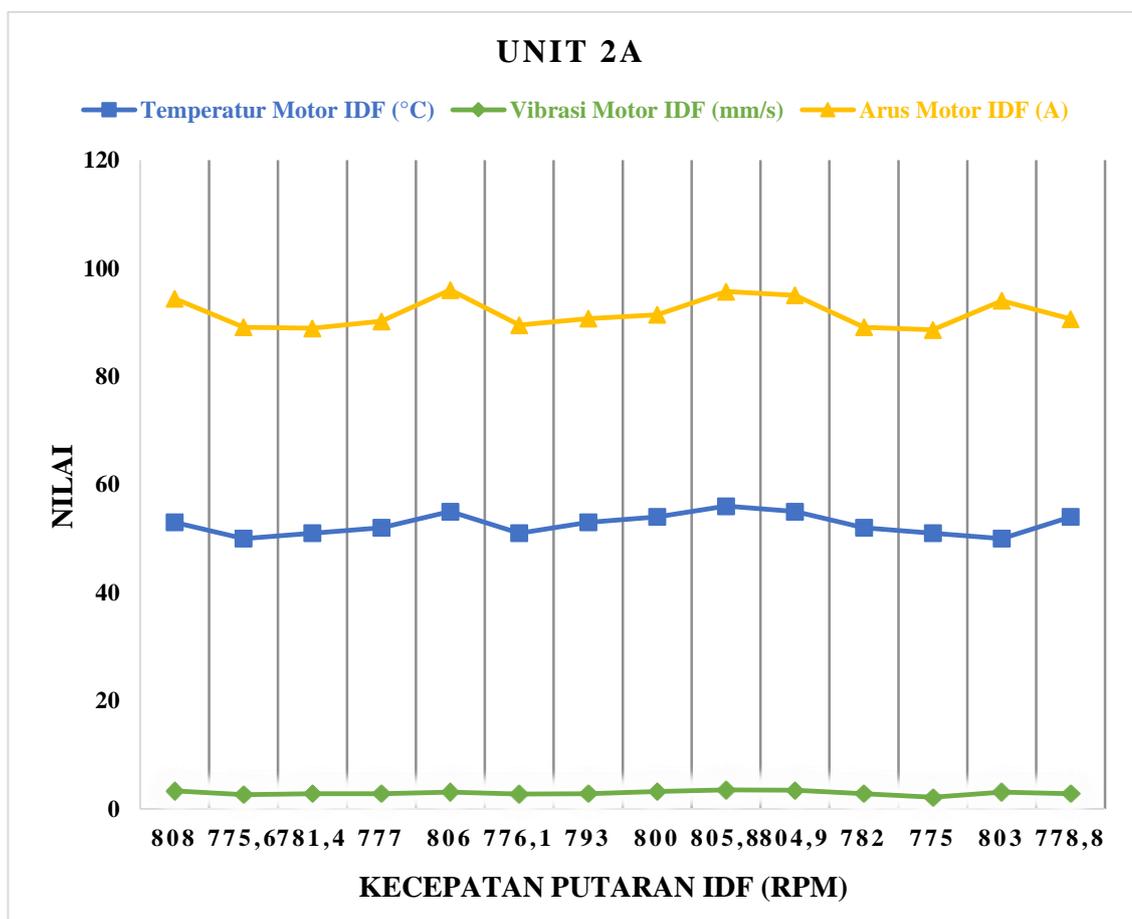
*turbine wheel* semakin sedikit, karena volume olinya hanya sedikit maka kecepatan putaran *turbine wheel* untuk memutar *output shaft* yang satu poros dengan *blades pitch* IDF akan semakin lambat. Sedangkan jika semakin rendah persentase bukaan *variable fluid coupling* itu artinya *scoop tube* bergerak menjauhi (membuka) celah yang digunakan *oil chamber* untuk mensirkulasikan oli ke *turbine wheel*, karena celah yang digunakan oleh *oil chamber* tadi terbuka (tergantung persentase bukaan) maka volume oli yang tersirkulasi ke *turbine wheel* semakin banyak, karena volume olinya banyak maka kecepatan putaran *turbine wheel* untuk memutar *output shaft* yang satu poros dengan *blades pitch* IDF akan semakin cepat.



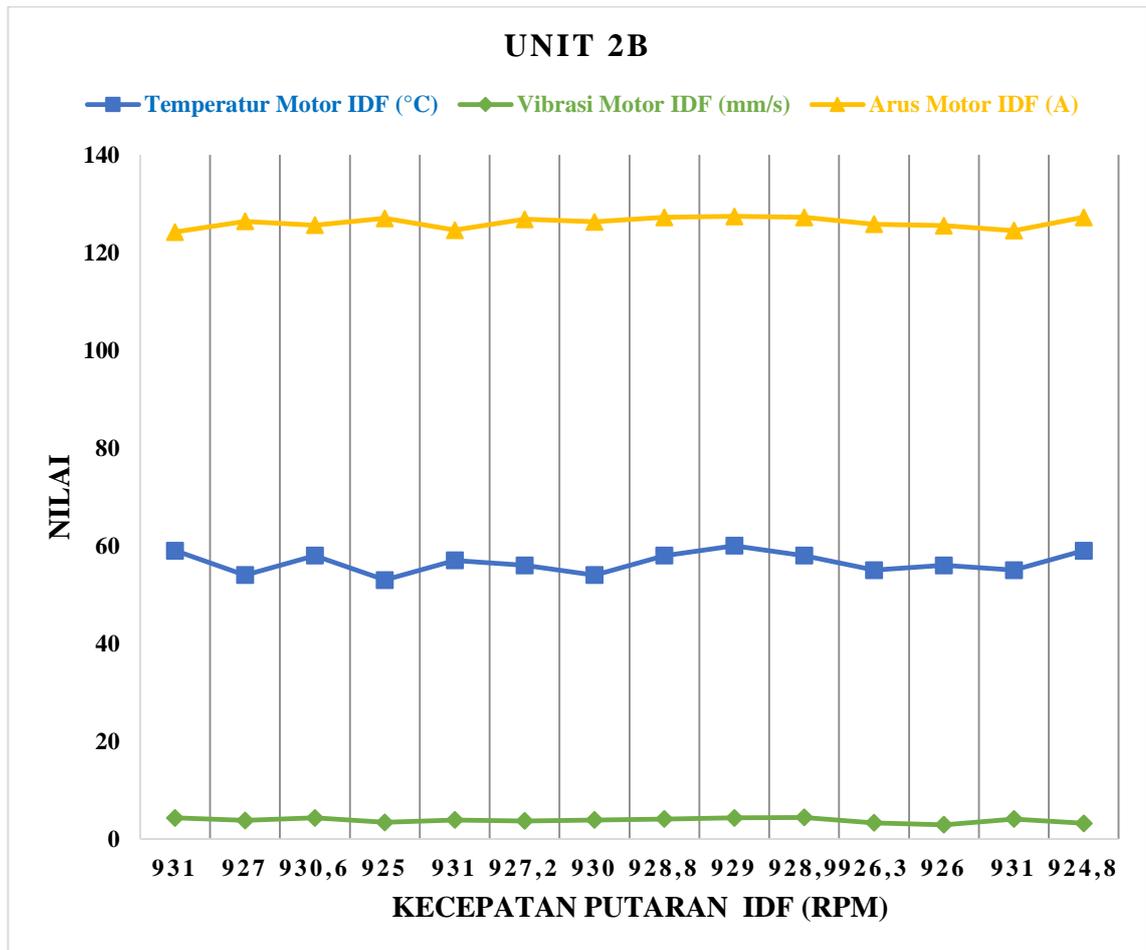
**Gambar 4.7** Ketidaksebandingan antara Volume dan Tekanan

#### 4.2.2 Hubungan Antara Kecepatan Putaran IDF dengan Arus Motor IDF, Vibrasi Motor IDF dan Temperatur Motor IDF

Agar mempermudah dalam proses analisis, maka data dari tabel 4.5 dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran IDF per menit (rpm) terhadap arus yang mengalir pada motor IDF (A), vibrasi pada motor IDF (mm/s) dan temperatur motor IDF (°C) baik pada IDF 2A maupun IDF 2B.



**Gambar 4.8** Grafik Hubungan Kecepatan putaran IDF 2A terhadap Arus Motor, Vibrasi Motor dan Temperatur Motor IDF 2A



**Gambar 4.9** Grafik Hubungan Kecepatan putaran IDF 2B terhadap Arus Motor, Vibrasi Motor dan Temperatur Motor IDF 2B

Berdasarkan grafik 4.8 dan 4.9 di atas dapat dicermati bahwa nilai dari 3 variabel IDF 2B yaitu arus motor (A), vibrasi motor (mm/s) dan temperatur motor (°C) selalu lebih besar daripada ketiga variabel IDF 2A. Hal tersebut tidak terlepas dari nilai kecepatan putaran IDF 2B yang selalu lebih besar daripada nilai kecepatan putaran IDF 2A, untuk penjelasan yang lebih detail akan dijelaskan pada paragraf-paragraf selanjutnya.

Pertama, kecepatan putaran IDF per menit (rpm) berbanding lurus dengan arus yang mengalir pada motor IDF. Hal tersebut dapat terlihat pada perbandingan antara grafik 4.8 (Unit 2A) dan 4.9 (Unit 2B) di atas, di mana semakin tinggi kecepatan putaran IDF per menitnya (rpm), maka arus yang mengalir pada motor IDF juga semakin tinggi, namun jika mana semakin rendah kecepatan putaran IDF

per menitnya (rpm), maka arus yang mengalir pada motor IDF juga semakin rendah. Hal tersebut dikarenakan jika nilai kecepatan putaran IDF semakin tinggi maka daya (P) yang dibutuhkan untuk memutar *blades pitch* IDF juga semakin tinggi (karena motor dan IDF satu poros), sedangkan sesuai persamaan  $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$ , daya (P) berbanding lurus dengan arus (I). Jadi, semakin tinggi nilai kecepatan putaran IDF maka daya yang dihasilkan juga semakin besar karena dayanya semakin besar, praktis arusnya pun semakin besar, sedangkan untuk nilai tegangannya konstan berada pada nilai 6000 V atau 6 kV.

Telah dibahas pada poin sebelumnya bahwa kecepatan putaran IDF berasal dari pengaturan bukaan *variable fluid coupling* yang terhubung dengan motor IDF melalui media fluida (oli), jadi walaupun kecepatan putaran motor IDF konstan, kecepatan putaran IDF dan arus yang mengalir pada motor IDF dapat bervariasi sesuai beban (volume dan tekanan *flue gas* yang dihisap). Hal tersebut sesuai dengan teori kelistrikan bahwa arus hanya akan mengalir jika ada beban dan besarnya nilai arus tergantung dari seberapa besar beban tersebut.

Kedua, kecepatan putaran IDF per menit (rpm) berbanding lurus dengan vibrasi IDF. Hal tersebut dapat terlihat pada perbandingan antara grafik 4.8 (Unit 2A) dan 4.9 (Unit 2B) di atas, di mana semakin tinggi nilai kecepatan putaran IDF per menitnya (rpm), maka nilai vibrasi IDF juga semakin tinggi, namun jika semakin rendah nilai kecepatan putaran IDF per menitnya (rpm), maka semakin rendah juga nilai vibrasi pada IDF tersebut. Hal tersebut dikarenakan saat nilai kecepatan putaran IDF tinggi, maka intensitas terjadinya pergeseran posisi *bearing* dari posisi awal per detiknya (mm/s) juga semakin tinggi, oleh karena seringnya terjadi pergeseran posisi *bearing* dari posisi awalnya, maka timbul suatu gerakan bolak-balik yang akan menyebabkan terciptanya getaran/vibrasi, intensitas pergeseran posisi *bearing* dari posisi awal per detiknya (mm/s) tadi lah yang akan diukur dalam suatu kasus pengukuran vibrasi. Jadi, semakin cepat putaran IDF, maka akan semakin sering terjadinya pergeseran posisi bearing dari posisi awalnya yang mengakibatkan meningkatnya nilai vibrasi IDF tersebut.

Sebelumnya, perlu diketahui bahwa pengukuran vibrasi tersebut dilakukan di *bearing* IDF yang berada pada *outlet shaft*, dengan cara menempelkan secara

bergantian alat pengukur vibrasi di *bearing* IDF pada 3 arah yaitu, Horizontal (H), Vertikal (V) dan Aksial (A) , pengukuran tersebut dilakukan sebanyak 5 kali untuk memastikan keakuratan data yang diperoleh dan untuk mengetahui dari ketiga arah tersebut mana yang besar terjadi vibrasi. Berdasarkan tabel 4.5 pada kolom vibrasi *bearing* IDF tertulis “normal” untuk semua nilai yang terdata, hal tersebut karena batas toleransi vibrasi sesuai standar ialah sebesar 4,5 mm/s. Normal di sini artinya *bearing* tersebut bekerja secara optimal karena tidak melewati batas toleransi sesuai standar dan masih aman serta layak digunakan sampai adanya pemeriksaan selanjutnya.

Ketiga, nilai temperatur motor IDF berbanding lurus dengan nilai arus motor IDF. Hal tersebut dapat terlihat pada perbandingan antara grafik 4.8 (Unit 2A) dan 4.9 (Unit 2B) di atas, di mana semakin besar arus motor IDF maka semakin tinggi nilai temperatur motor IDF tersebut. Hal tersebut dikarenakan saat arus yang mengalir pada stator besar, maka temperatur pada kumparan stator pun akan naik atau akan menjadi panas, kemudian panas tersebut akan diinduksikan oleh stator kepada *body* motor dan rotor juga bersamaan dengan induksi elektromagnetik, karenanya *body* motor temperaturnya naik seiring naiknya nilai arus yang mengalir pada stator.

Selain faktor tersebut ada faktor lain yang juga memengaruhi nilai temperatur motor IDF, faktor tersebut ialah faktor induksi energi panas dari kabel penyuplai arus listrik ke stator motor IDF. Di mana jika semakin tinggi nilai arus yang mengalir ke motor IDF, maka kabel yang menyuplai arus tersebut temperaturnya juga semakin tinggi, jika semakin tinggi temperaturnya maka akan semakin panas kabel tersebut, namun induksi energi panas tersebut dapat minimalisir dengan memilih kabel yang tepat sesuai dengan kapasitas arus yang dapat dilewati kabel itu sendiri, walaupun sudah diminimalisir namun tetap ada induksi energi panas dari kabel yang digunakan.

Sebelumnya, perlu diketahui bahwa pengukuran temperatur tersebut dilakukan di *body* motor IDF, dengan cara mendekatkan alat pengukur temperatur (*Thermography*) tersebut ke *body* motor IDF pada salah satu arah saja baik,



- = 843.688,88 W = 843,68 kW
- Data hari ke-1 unit 2B:  $V = 6 \text{ kV} = 6000 \text{ V}$      $\cos \varphi = 0,86$   
 $I = 124,2 \text{ A}$   
Maka diperoleh nilai  $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $= 1,73 \cdot 6000 \cdot 124,2 \cdot 0,86$   
 $= 1.108.708,56 \text{ W} = 1.108,70 \text{ kW}$
  - Data hari ke-2 unit 2A:  $V = 6 \text{ kV} = 6000 \text{ V}$      $\cos \varphi = 0,86$   
 $I = 89,1 \text{ A}$   
Maka diperoleh nilai  $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $= 1,73 \cdot 6000 \cdot 89,1 \cdot 0,86$   
 $= 795.377,88 \text{ W} = 795,37 \text{ kW}$
  - Data hari ke-2 unit 2B:  $V = 6 \text{ kV} = 6000 \text{ V}$      $\cos \varphi = 0,86$   
 $I = 126,4 \text{ A}$   
Maka diperoleh nilai  $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $= 1,73 \cdot 6000 \cdot 126,4 \cdot 0,86$   
 $= 1.128.347,52 \text{ W} = 1.128,34 \text{ Kw}$
  - Data hari ke-3 unit 2A:  $V = 6 \text{ kV} = 6000 \text{ V}$      $\cos \varphi = 0,86$   
 $I = 88,9 \text{ A}$   
Maka diperoleh nilai  $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $= 1,73 \cdot 6000 \cdot 88,9 \cdot 0,86$   
 $= 793.592,52 \text{ W} = 793,6 \text{ kW}$
  - Data hari ke-3 unit 2B:  $V = 6 \text{ kV} = 6000 \text{ V}$      $\cos \varphi = 0,86$   
 $I = 125,6 \text{ A}$   
Maka diperoleh nilai  $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $= 1,73 \cdot 6000 \cdot 125,6 \cdot 0,86$   
 $= 1.121.206,08 \text{ W} = 1.121,20 \text{ kW}$

Untuk perhitungan daya motor pada hari ke-4 sampai hari ke-14 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan yang sama seperti di atas. Berdasarkan persamaan dan perhitungan seperti di atas, maka dapat dibuat tabel sebagai berikut:

**Tabel 4.6** Perhitungan Daya Motor IDF 2A

Hari Ke	Arus Motor IDF (A)	Tegangan Motor IDF (V)	Cos $\phi$	Daya Motor IDF (kW)
4	88,7	6000	0,86	792,75
5	93,1	6000	0,86	832,07
6	86,8	6000	0,86	775,76
7	89,2	6000	0,86	797,21
8	91,6	6000	0,86	818,66
9	93	6000	0,86	831,18
10	92,4	6000	0,86	825,81
11	85,6	6000	0,86	765,04
12	84,2	6000	0,86	752,53
13	89,8	6000	0,86	802,58
14	88,7	6000	0,86	792,75

**Tabel 4.7** Perhitungan Daya Motor IDF 2B

Hari Ke	Arus Motor IDF (A)	Tegangan Motor IDF (V)	Cos $\phi$	Daya Motor IDF (kW)
4	127	6000	0,86	1135,05
5	124,6	6000	0,86	1113,60
6	126,8	6000	0,86	1133,26
7	126,3	6000	0,86	1128,79
8	127,2	6000	0,86	1136,84
9	127,4	6000	0,86	1138,62
10	127,2	6000	0,86	1136,84
11	125,8	6000	0,86	1124,32
12	125,5	6000	0,86	1121,64
13	124,5	6000	0,86	1112,70
14	127,2	6000	0,86	1136,84

Berdasarkan tabel 4.6 dan 4.7 di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai arus pada motor IDF maka daya yang dihasilkan (daya output) motor IDF akan semakin besar nilainya, sebaliknya jika semakin rendah nilai arus pada motor IDF maka daya yang dihasilkan (daya output) motor IDF juga semakin kecil nilainya. Hal tersebut sesuai dengan persamaan  $P = \sqrt{3}.V.I.\cos \phi$ , di mana daya yang dihasilkan suatu motor berbanding lurus dengan tegangan dan arus yang mengalir pada motor tersebut.

#### **4.2.3.2 Perhitungan Efisiensi Daya Motor *Induced Draft Fan* Unit 2 PLTU Sebalang**

Dalam sub-bab ini, akan dihitung nilai efisiensi daya motor IDF 2A dan IDF 2B. Adapun persamaan yang akan digunakan dalam mencari daya motor ialah:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:  $\eta$  = efisiensi daya motor (%)  
 $P_{out}$  = daya yang dihasilkan motor (kW)  
 $P$  = daya motor sesuai *nameplate* (kW)

Dari data tabel 4.5 dan melalui persamaan di atas maka  $\eta$  dapat diketahui sebagai berikut:

➤ Data hari ke-1 unit 2A:  $P_{out} = 843,68 \text{ kW}$   
 $P = 1400 \text{ kW}$

Maka diperoleh nilai  $\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\%$   
 $= 843,68 / 1400 \times 100\%$   
 $= 60,26 \%$

➤ Data hari ke-1 unit 2B:  $P_{out} = 1108,70 \text{ kW}$   
 $P = 1400 \text{ kW}$

Maka diperoleh nilai  $\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\%$   
 $= 1108,70 / 1400 \times 100\%$   
 $= 79,20 \%$

➤ Data hari ke-2 unit 2A:  $P_{out} = 795,37 \text{ kW}$   
 $P = 1400 \text{ kW}$

Maka diperoleh nilai  $\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\%$   
 $= 795,37 / 1400 \times 100\%$   
 $= 56,81 \%$

➤ Data hari ke-2 unit 2B:  $P_{out} = 1128,34 \text{ kW}$   
 $P = 1400 \text{ kW}$

Maka diperoleh nilai  $\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\%$   
 $= 1128,34 / 1400 \times 100\%$   
 $= 80,60 \%$

➤ Data hari ke-3 unit 2A:  $P_{out} = 793,6 \text{ kW}$   
 $P = 1400 \text{ kW}$

Maka diperoleh nilai  $\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\%$   
 $= 793,6 / 1400 \times 100\%$

$$= 56,68 \%$$

➤ Data hari ke-3 unit 2B:  $P_{out} = 1121,20 \text{ kW}$

$$P = 1400 \text{ kW}$$

Maka diperoleh nilai  $\eta = \frac{P_{out}}{P} \times 100\%$

$$= 1121,20 / 1400 \times 100\%$$

$$= 80,08 \%$$

Untuk perhitungan efisiensi daya motor pada hari ke-4 sampai hari ke-14 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan yang sama seperti di atas. Berdasarkan persamaan dan perhitungan seperti di atas, maka dapat dibuat tabel sebagai berikut:

**Tabel 4.8** Perhitungan Efisiensi Daya Motor IDF 2A

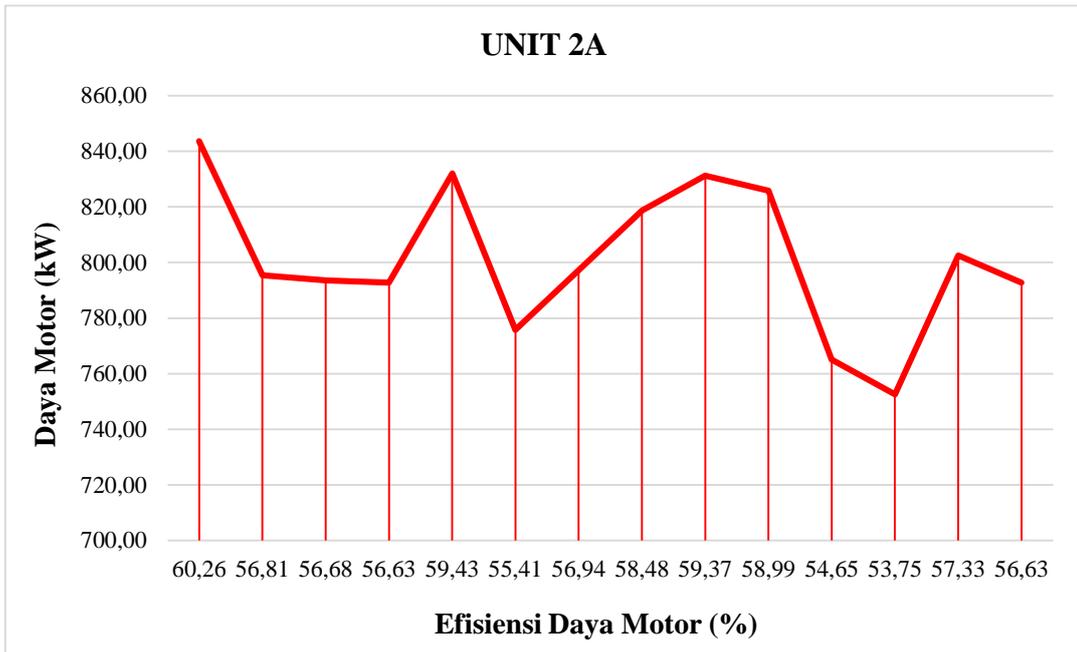
Hari Ke	Poutput (kW)	Pinput (kW)	Effisiensi Daya (%)
4	792,75	1400	56,63
5	832,07	1400	59,43
6	775,76	1400	55,41
7	797,21	1400	56,94
8	818,66	1400	58,48
9	831,18	1400	59,37
10	825,81	1400	58,99
11	765,04	1400	54,65
12	752,53	1400	53,75
13	802,58	1400	57,33
14	792,75	1400	56,63

**Tabel 4.9** Perhitungan Efisiensi Daya Motor IDF 2B

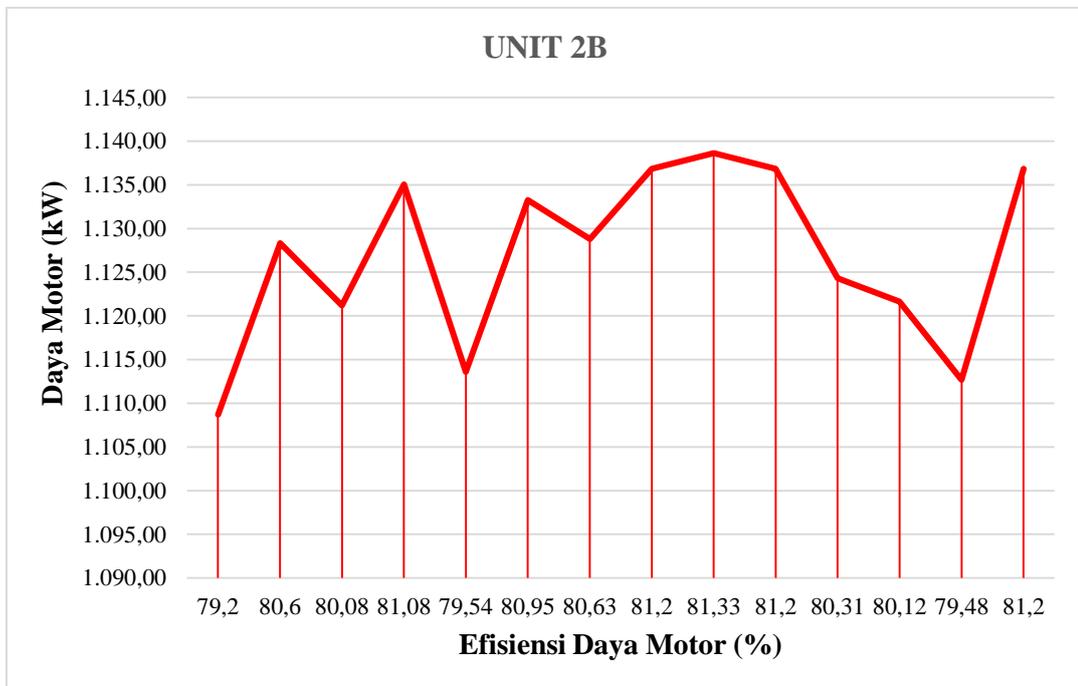
Hari Ke	Poutput (kW)	Pinput (kW)	Effisiensi Daya (%)
4	1135,05	1400	81,08
5	1113,6	1400	79,54
6	1133,26	1400	80,95
7	1128,79	1400	80,63
8	1136,84	1400	81,20
9	1138,62	1400	81,33
10	1136,84	1400	81,20
11	1124,32	1400	80,31
12	1121,64	1400	80,12
13	1112,7	1400	79,48
14	1136,84	1400	81,20

Berdasarkan tabel 4.8 dan 4.9 di atas dapat dicermati bahwa semakin besar daya yang dihasilkan motor IDF maka efisiensi yang diperoleh tinggi, namun jika semakin kecil daya yang dihasilkan motor IDF maka efisiensi yang diperoleh kecil. Hal tersebut dikarenakan digunakannya daya input atau daya dari *nameplate* motor sebagai perbandingan, di mana jika semakin besar daya yang dihasilkan motor (daya output) maka selisih antara daya input (Pin) dan daya output (Pout) akan semakin kecil, karena selisihnya kecil, efisiensinya pun tinggi, sedangkan jika semakin kecil daya yang dihasilkan motor (daya output) maka selisih antara daya input (Pin) dan daya output (Pout) akan semakin besar, karena selisihnya besar, efisiensinya pun rendah.

Agar lebih mempermudah dalam mengamati data hasil perhitungan, maka data hasil perhitungan tersebut akan divisualisasikan ke dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara daya output motor IDF 2A dan IDF 2B (kW) terhadap efisiensi daya motor IDF 2A dan IDF 2B (%). Berikut di bawah ini kedua grafik tersebut:



**Gambar 4.10** Grafik Hubungan Daya Output Motor IDF 2A terhadap Efisiensi Daya Motor IDF 2A



**Gambar 4.11** Grafik Hubungan Daya Output Motor IDF 2B terhadap Efisiensi Daya Motor IDF 2B