

## STUDI ANALISIS PERBANDINGAN METODE *STARTING DIRECT ON LINE* (DOL) DAN *VARIABLE SPEED DRIVE* (VSD) PADA MOTOR FAN UNTUK *COOLING TOWER* DI PT. RAPP (RIAU ANDALAN PULP PAPER)

Martogi Ivan Putra Naibaho<sup>1</sup>, I Ketut Wijaya<sup>2</sup>, I Made Mataram<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,  
Bukit Jimbaran, Bali

[lvannaibaho@yahoo.com](mailto:lvannaibaho@yahoo.com), [wijaya@ee.unud.ac.id](mailto:wijaya@ee.unud.ac.id), [Mataram@unud.ac.id](mailto:Mataram@unud.ac.id)

### ABSTRAK

Arus awal yang besar dalam proses *Starting* berpotensi merusak motor induksi. Dalam meminimalisir resiko kerusakan, dibutuhkan metode *starting* yang tepat. Metode *Direct On Line* (DOL) merupakan metode *starting* yang umum digunakan pada motor induksi karena instalasinya yang ekonomis dan efisiensi kerjanya tinggi. Metode *starting* yang juga memiliki efisiensi kerja yang baik adalah *Variable Speed Drive* (VSD). Perlu adanya analisis perbandingan diantara kedua metode tersebut untuk mengetahui bagaimana performa dari kedua metode tersebut.

Hasil penelitian, berlangsungnya unjuk kerja kedua metode *starting* pada motor fan untuk *cooling tower* menunjukkan bahwa performa metode VSD lebih unggul dibandingkan dengan metode DOL. Performa *Starting* pada motor induksi terlihat dari nilai efisiensi dan nilai ekonomis metode DOL dan VSD. Performa tersebut tentunya dengan memperhatikan arus, kecepatan putaran dan daya keluaran yang dihasilkan.

**Kata kunci :** DOL, VSD, Motor Induksi, Analisis Perbandingan Metode *Starting*

### ABSTRACT

*The large starting current in the starting process has the potential to damage the induction motor. In minimizing the risk of damage, proper starting methods are needed. The Direct On Line (DOL) method is a starting method commonly used in induction motors because of its economical installation and high work efficiency. The starting method which also has good work efficiency is the Variable Speed Drive (VSD). There needs to be a comparative analysis between the two methods to find out how the performance of the two methods is.*

*Research results, the ongoing performance of the two starting methods on the fan motor for cooling towers shows that the performance of the VSD method is superior to that of the DOL method. Starting performance on an induction motor can be seen from the efficiency and economic value of the DOL and VSD methods. This performance is of course taking into account the current, rotation speed and the resulting output power.*

**Key Words :** DOL, VSD, Induction Motors, Comparative Analysis of Starting Method

### 1. PENDAHULUAN

Besar kapasitas setiap mesin berbeda-beda, disesuaikan berdasarkan kebutuhan beroperasinya pembangkit mesin. Maka berdasarkan nilai kapasitas motor yang dimiliki, akan mempunyai nilai arus *starting* yang berbeda-beda juga. Semakin besar nilai kapasitor motor

induksi, maka akan semakin besar juga nilai arus *starting*. Arus awal yang besar menjadi masalah dalam proses *start* pada motor induksi. Arus awal yang besar ini adalah empat sampai tujuh kali arus nominal serta berpotensi merusak motor induksi (1). Oleh karena itu, proses *starting*

pada motor induksi perlu menjadi perhatian untuk meminimalisir potensi kerusakan pada mesin.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis bermaksud melakukan analisis perbandingan performa pada metode *starting* motor induksi. Metode *Direct On Line* (DOL) dan *Variable Speed Drive* (VSD) menjadi pilihan penulis untuk menguji performanya terhadap Motor *Fan pada Cooling tower*.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Motor Induksi

Motor induksi selalu berputar di bawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang dihasilkan di stator akan menghasilkan fluks masuk rotor sehingga rotor dapat berputar (2). Motor induksi 3 fasa merupakan motor induksi yang dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa. Motor induksi 3 fasa dihubungkan dengan sumber 3 fasa sehingga pada stator mengalir arus tiga fasa yang kemudian menghasilkan medan putar (3).

### 2.2 Metode *Direct On Line* (DOL)

*Direct online starting* (DOL) merupakan metode *starting* yang umum digunakan pada motor listrik. *Starting* langsung DOL merupakan cara paling sederhana, dimana stator langsung dihubungkan langsung dengan sumber tegangan, artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat *starting*. Penggunaan metode ini sering dilakukan untuk motor-motor AC yang mempunyai kapasitas daya yang kecil (4).

### 2.3 Metode *Variabel Speed Drive* (VSD)

VSD merupakan suatu peralatan di mana komponen yang ada di dalamnya merupakan beban non linear. Pada beban non linear, beban tidak lagi menggambarkan bentuk gelombang arus dan tegangan yang proporsional. Pemakaian beban non linear akan menghasilkan bentuk gelombang arus dan tegangan sinusoidal yang tidak murni. Akibatnya akan terbentuk gelombang

sinusoidal terdistorsi yang akan menghasilkan harmonisa sehingga akan dapat menimbulkan beberapa kerugian, seperti: menurunkan kualitas sistem tenaga listrik yang mengakibatkan pemanasan pada peralatan, penurunan faktor daya, naiknya distorsi terhadap input, kegagalan fungsi dari peralatan elektronik yang sensitif, menurunkan efisiensi (5).

### 2.4 Efisiensi Motor Induksi

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan (6).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana dan waktu penelitian dimulai dari bulan November sampai Desember 2020. Analisis Data dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini :



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Berdasarkan gambar diagram diatas, Tahapan analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Langkah 1 Studi Literatur, Studi literatur yang dilakukan meliputi pemahaman literasi dari jurnal dan buku tentang metode DOL dan VSD, serta artikel dari internet yang berhubungan dengan materi penelitian.

Langkah 2 Pengumpulan Data, Data diperoleh dari PT. RAPP, dengan data jenis penelitian adalah *name plate* motor induksi tiga fasa tipe *squirrel cage rotor* (rotor sangkar tupai) dengan spesifikasi sebagai berikut.

No	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)	Daya (kW)	Putaran (r/min)	Arus (A)	cos $\phi$
1	660 Y	50	250	1489	255	0,89
2	380 D	50	250	1489	445	0,89
3	415 D	50	250	1491	420	0,87
4	440 D	60	285	1789	440	0,89

Tabel 1. Spesifikasi motor fan

Keterangan tabel:

Y = star

D = Delta

Langkah 3 Reduksi Data, Memilih data yang sesuai dengan hal – hal pokok dalam penelitian. Instrumen yang digunakan untuk mendapatkan data dalam penelitian ini yaitu : *Amperemeter* untuk mengukur arus, *Voltmeter* untuk mengukur tegangan (tegangan sistem), dan Laptop Hewlett-Packard (HP) digunakan untuk menganalisis data.

Langkah 4 Analisis Data, Adapun analisis data dalam penelitian sebagai berikut :

1. Membandingkan arus starting metode DOL dan VSD.
2. Membandingkan kecepatan putar metode DOL dan VSD.
3. Menganalisis daya input dan daya output pada metode starting DOL dan VSD.
4. Membandingkan performa *starting* atau pengasutan pada motor *fan* untuk *cooling tower* dengan metode DOL dan VSD

Performa merupakan prestasi kinerja suatu motor yang meliputi efisiensi, torsi dan biaya pemakaian (cost). Performa yang akan dibandingkan pada penelitian ini adalah:

1. Efisiensi untuk metode starting DOL dan VSD
2. Nilai ekonomis dengan membandingkan nilai kWh kedua metode starting DOL dan VSD dengan harga PLN (biaya pemakaian).

Berdasarkan langkah keempat maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

Spesifikasi motor induksi yang digunakan sesuai dengan spesifikasi pada *name plate*, yaitu:

Daya Motor : 250 kW

Frekuensi : 50 Hz

Tegangan : 660 volt

Arus : 255 ampere

Putaran : 1489 rpm

cos  $\phi$  : 0,89

Selanjutnya dilakukan pengukuran arus, tegangan, frekuensi motor induksi tiga fasa dengan menggunakan DOL dan VSD. Adapun data hasil pengukuran yang diperoleh sebagai berikut.

Tanggal	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Total Daya (kW)
25 November 2020	688	195,6	1489	50,16	250

Tabel 2. Hasil Pengukuran Menggunakan Metode DOL

Tanggal	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Total Daya (kW)
25 November 2020	579	122,48	1271	42,37	83

Tabel 3. Hasil Pengukuran Menggunakan Metode VSD

### 4.2 Perbandingan Arus DOL dan VSD

Untuk menghitung besarnya arus pada metode DOL bisa menggunakan data pada *name plate*, maka diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

Daya tampak =  $P_{in} = 250 \text{ kW}$

$$I_{start} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

$$I_{start} = \frac{250.000W}{\sqrt{3} \cdot 660V \cdot 0,89}$$

$$I_{start} = \frac{250.000W}{1.017,41V}$$

$$I_{start} = 245,72 A$$

Arus yang diperoleh sebesar 245,72 A, sementara pada saat beroperasi arus yang diukur sebesar 195,6 A. Pada VSD, besarnya arus jika dihitung secara manual diperoleh hasil sebagai berikut.

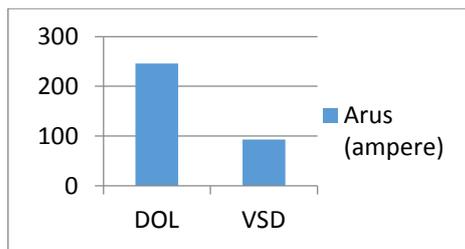
$$I_{start} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

$$I_{start} = \frac{83.000W}{\sqrt{3} \cdot 579V \cdot 0,89}$$

$$I_{start} = \frac{83.000W}{892,54V}$$

$$I_{start} = 92,99 A$$

Sementara jika dilakukan pengukuran diperoleh arus sebesar 122,48 A.



Gambar 2. Diagram arus metode DOL dan VSD

#### 4.3 Perbandingan Kecepatan Putaran Motor dengan Metode Starting DOL dan VSD

Dari hasil pengukuran, besarnya kecepatan putaran motor yang dihasilkan dengan metode DOL sebesar 1489 rpm. Jika dilakukan perhitungan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$rpm = \frac{120f}{P}$$

$$rpm = \frac{120 \times 50,16Hz}{4}$$

$$rpm = 1.504,8 rpm$$

Pada metode VSD, kecepatan putaran motor dari hasil pengukuran sebesar 1271 rpm. Jika dilakukan perhitungan, diperoleh hasil :

$$rpm = \frac{120f}{P}$$

$$rpm = \frac{120 \times 42,37Hz}{4}$$

$$rpm = 1.271,1 rpm$$

Dari kedua data tersebut baik secara pengukuran maupun perhitungan, kecepatan putaran motor dengan metode VSD lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan putaran motor dengan metode DOL. Hal ini disebabkan oleh frekuensi pada VSD bisa diatur lebih kecil dari pada frekuensi sistem. Semakin kecil frekuensi maka kecepatan putaran motor juga akan semakin kecil.

#### 4.4 Perbandingan Efisiensi Motor Induksi Metode Starting DOL dan VSD

Besarnya nilai efisiensi pada motor induksi metode DOL sebagai berikut :

$$P_{in} = \sqrt{3} V \times I \times \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 660 V \times 255 A \times 0,89$$

$$= 259.438,7W$$

$$= 259,44kW$$

$$P_{out} = 250 kW$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{250 kW}{259,44 kW} \times 100\%$$

$$\eta = 0,9636 \times 100\%$$

$$\eta = 96,36\%$$

Perbandingan efisiensi yang dilihat dari kedua metode ini adalah, pada metode DOL karena pengasutannya dilakukan secara langsung maka efisiensi bisa dihitung secara langsung juga yaitu sebesar 96,36%, sementara untuk metode VSD, frekuensi yang diatur belum mencapai frekuensi sistem tetapi motor sudah bekerja dengan normal memenuhi kebutuhan beban. Dari kondisi ini bisa dikatakan bahwa efisiensi motor menggunakan VSD akan lebih unggul.

#### 4.5 Perbandingan Biaya Energi Listrik Metode Starting DOL dan VSD

Besarnya pemakaian energi listrik motor induksi selama sehari (24 jam) dengan metode DOL sebagai berikut.

$$W = P \cdot t$$

$$W = 250 kW \times 24 jam$$

$$W = 6.000 kWh$$

Besarnya tarif energi listrik sebesar Rp 1.114,74/kWh (Penetapan Penyesuaian Tarif Energi Listrik oleh Kementerian ESDM per 1 September 2020), maka asumsi biaya pemakaian energi listrik 24 jam dalam sehari :

$$\begin{aligned} \text{Biaya energi listrik} &= 6.000 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.114,74/\text{kWh} \\ &= \text{Rp } 6.688.440 \end{aligned}$$

Biaya pemakaian energi listrik dalam sebulan adalah:

$$30 \text{ hari} \times \text{Rp } 6.688.440 = \text{Rp } 200.653.200$$

Sementara untuk metode VSD, besarnya pemakaian energi listrik motor induksi dalam sehari (24 jam) sebagai berikut.

$$W = P.t$$

$$W = 83 \text{ kW} \times 24 \text{ jam}$$

$$W = 1.992 \text{ kWh}$$

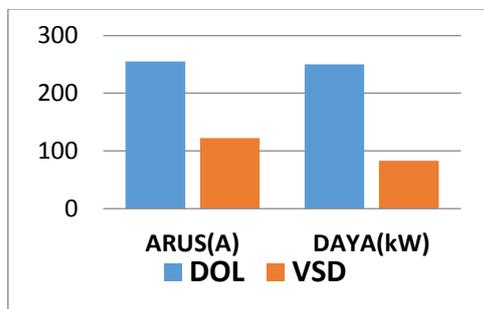
Dengan tarif biaya energi listrik yang sama, maka asumsi biaya pemakaian energi listrik dengan metode VSD selama 24 jam dalam sehari :

$$\begin{aligned} \text{Biaya energi listrik} &= 1992 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.114,74/\text{kWh} \\ &= \text{Rp } 2.220.562,08 \end{aligned}$$

Biaya pemakaian energi listrik dalam sebulan adalah:

$$30 \text{ hari} \times \text{Rp } 2.220.562,08 = \text{Rp } 66.616.862,40$$

Arus sistem yang tertera pada *name plate* sebesar 255 A, setelah dilakukan pengukuran dengan metode DOL dan VSD diperoleh hasil masing – masing arus yang terukur 195,6 A dan 122,48 A. Sementara untuk daya keluaran yang dihasilkan DOL dan VSD masing – masing 250 kW dan 83 kW.



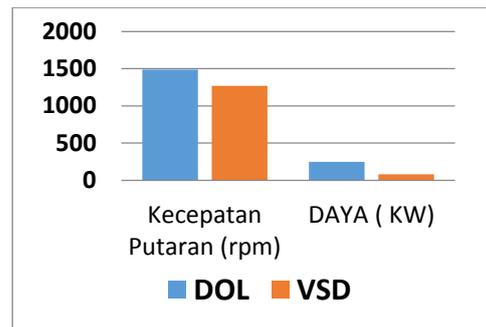
Gambar 3. Diagram Perbandingan Arus dan Daya DOL dan VSD

Arus yang dihasilkan pada metode starting VSD lebih kecil dibandingkan dengan DOL. Hal ini sebanding dengan daya keluaran yang terukur pada VSD yang

juga cenderung lebih kecil dibandingkan dengan DOL.

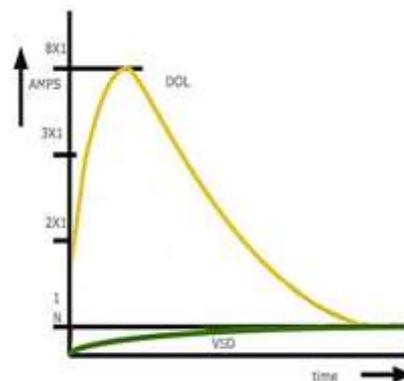
#### 4.6 Hubungan Kecepatan Putaran dan Daya Keluaran

Besarnya kecepatan putaran VSD lebih kecil dibandingkan dengan DOL. Kecepatan putaran DOL yang terukur 1489 rpm, sedangkan untuk VSD sebesar 1271 rpm. Pada metode DOL, frekuensi yang digunakan sebesar 50 Hz, setelah diukur diperoleh frekuensi 50,16 Hz. Pada VSD dengan beban yang sama, penggunaan frekuensi 42,37 Hz sudah menenuhi daya yang dibutuhkan. Frekuensi sebanding dengan kecepatan putaran motor. Frekuensi yang rendah akan mengurangi kecepatan putaran motor, dan frekuensi besar akan menaikkan kecepatan motor. Kecepatan putaran yang rendah inilah yang memperkecil daya motor pada



Gambar 4. Diagram perbandingan daya keluaran dan kecepatan putaran DOL dan VSD

#### 4.7 Analisis Karakteristik Metode Starting DOL dan VSD



Gambar 5. Grafik Karakteristik metode starting DOL dan VSD

Grafik memperlihatkan bahwa arus starting pada metode DOL melonjak hingga mencapai 8 kali arus nominalnya, hal ini disebabkan karena pada saat motor akan mulai bergerak butuh torsi awal yang besar untuk memutar motor. Saat tegangan masuk ke dalam motor yang belum berputar maka besarnya slip bernilai 1 yang menyebabkan nilai tahanan rotor semakin kecil hingga menyebabkan arus start yang sangat besar. Namun setelah motor berputar nilai slip akan mendekati nol sehingga tahanan rotor akan naik, dan inilah yang menyebabkan arus akan

kembali ke posisi nominalnya (kurva menurun). Pada metode VSD, torsi awal diatur dengan mengendalikan frekuensi sumber sesuai dengan keinginan karena dilengkapi dengan rectifier dan inverter. Hal inilah yang menyebabkan arus yang diperoleh kecil. Arus kecil ini juga tentu akan mempengaruhi daya keluaran dan pengeluaran biaya energi listrik. Performa Starting berdasarkan nilai efisiensi maka VSD jauh lebih efisien dibandingkan dengan DOL dan dari nilai energi listrik yang konsumsi, VSD jauh lebih hemat 66,8% dibandingkan dengan DOL.

## 5. KESIMPULAN

- I. Dari hasil penelitian, berlangsungnya unjuk kerja kedua metode starting pada motor fan untuk cooling tower adalah sebagai berikut
  1. Arus Starting pada metode DOL sebesar adalah 195,6 A, sedangkan Arus Starting pada metode VSD adalah sebesar 122,48 A
  2. Kecepatan putaran motor dengan metode DOL adalah 1489 rpm, sedangkan kecepatan putaran motor dengan metode VSD adalah 1271 rpm
  3. Besar pemakain listrik dengan menggunakan metode starting DOL adalah 6000 kWh dan Biaya yang dikeluarkan kurang lebih Rp 6.688.440/hari (sumber : Kementriaan ESDM), sedangkan Besar pemakain listrik dengan menggunakan metode starting VSD adalah 1992 kWh dan Biaya yang dikeluarkan kurang lebih Rp 2.220.562,08/hari (sumber : Kementriaan ESDM)
- II. Dari hasil penelitian, berlangsungnya unjuk kerja kedua metode starting pada motor fan untuk cooling tower tersebut menunjukkan bahwa metode VSD lebih unggul performanya dibandingkan dengan metode DOL.

## Daftar Pustaka

- [1]. Nurmalitawati, Aztrid. 2014. *Analisis Perbandingan Besarnya Arus Start Motor Induksi Berkapasitas Besar Terhadap Jatuh Tegangan Bus*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [2]. Sukarma, I.N. 2020. *Perbandingan start motor induksi tiga fasa menggunakan DOL, Star Delta dan VSD Altivar61*. Bukit Jimbaran : Politeknik Negeri Bali.
- [3]. Zuhall. 1993. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- [4]. Zuhall. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Bandung : Penerbit ITB.
- [5]. Mohan, Ned; Undeland, Tore M ;Robbins, William P. 1995. *Power Electronics Converter, Application, And Design*. s.l. : John Wiley And Sons, Inc.
- [6]. Sirait, David H. 2008. *Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Pada Pt. Berlian Unggas Sakti Tj. Morawa*. Medan : Universitas Sumatera Utara.