

## ANALISIS EFISIENSI DAYA MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN MENGGUNAKAN SOFT STARTER PADA RECIPROCATING COMPRESSOR

Ujang Wiharja, Septo Wisnu Groho

**Abstrak** - *Reciprocating compressor* adalah jenis *air compressor* yang dimana merupakan alat yang berperan penting dalam dunia industri terutama pada sistem *pneumatic* memiliki motor induksi sebagai sistem penggerakannya. Motor induksi mempunyai banyak keunggulan dari segi teknis maupun ekonomis. Akan tetapi motor induksi juga mempunyai kekurangan, antara lain arus starting besar yang dapat menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh. Pada motor induksi diperlukan suatu metode starting, yang bertujuan untuk mengurangi arus starting yang besar. Metode *starting* yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode starting *soft starter* dengan rangkaian *soft starter inside delta circuit*. Dari hasil penelitian diperoleh nilai arus *starting* motor induksi 3 fasa 160kW dengan metode starting *soft starter* dalam kurun waktu 10 *second* sebesar 1054,77A (1s), dengan *starting class* 350%  $I_n$  Motor dari arus nominal sebesar 301,36 A (10s). *Soft starter* yang dirangkai secara *inside delta circuit* besar arus yang masuk akan turun menjadi  $(1/\sqrt{3})$  dari arus nominal yaitu sebesar  $\pm 58\%$  dari arus nominal 301,36 A menjadi sebesar 173,99 A. Daya yang semula sebesar 159,807 kW menjadi 92,38 kW, efisiensi daya yang dihasilkan *soft starter* adalah sebesar 94,67% dan efisiensi daya yang dihasilkan pada saat by pass contactor delta adalah sebesar 94,84% ketika kondisi torsi maximum 150% menuju full load 100%.

Kata kunci : *Air Compressor*, Motor Induksi, *Inside Delta*, *Soft Starter*, *starting class*

**Abstract** - *Reciprocating compressor* is a type of *air compressor* which is a tool that plays an important role in the industrial world, especially in *pneumatic* systems has an induction motor as the driving system. Induction motors have many advantages from a technical and economic point of view. However, induction motors also have drawbacks, including a large starting current that can draw 5 to 7 times the full load current. In an induction motor, a starting method is needed, which aims to reduce the large starting current. The starting method used in this study is the *soft starter* starting method with a *soft starter inside delta circuit*. From the results of the research, the starting current value of a 3-phase induction motor is 160kW with the *soft starter* starting method in a period of 10 seconds of 1054.77A (1s), with a starting class of 350%  $I_n$  Motor of a nominal current of 301.36 A (10s). . The *soft starter* which is assembled in an *inside delta circuit*, the large incoming current will decrease to  $(1/\sqrt{3})$  of the nominal current, which is  $\pm 58\%$  of the nominal current of 301.36 A to 173.99 A. The power which was originally 159.807 kW becomes 92.38 kW, the power efficiency produced by the *soft starter* is 94.67% and the power efficiency generated at the by pass contactor delta is 94.84% when the maximum torque condition is 150% towards 100% full load.

Keyword : *Air Compressor*, Motor Induksi, *Inside Delta*, *Soft Starter*, *starting class*

## 2. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada masa sekarang sangat pesat pertumbuhannya dan itu terlihat dari semakin banyaknya industri-industri yang beridiri dan memproduksi alat-alat teknologi masa kini. Motor-motor induksi sangat penting penggunaannya sebagai alat bantu penggerak peralatan lain seperti pada industri flexible packaging dan PET bottling yang dimana motor induksi sangat dibutuhkan, begitupula dengan kompressor udara (air compressor) yang merupakan peralatan utility dan sangat banyak digunakan dalam berbagai aspek industri. Motor induksi (asinkron) ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengekstasi belitan stator, belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini diesktasi oleh induksi dari perubahan medan magnetic yang disebabkan oleh arus belitan stator. Hampir semua motor AC yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi 3 fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator<sup>[2]</sup>. Arus pengasutan awal yang besar dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu sistem, seperti peralatan-peralatan elektronik dan memungkinkan juga mengganggu peralatan-peralatan mekanik, sehingga diperlukan suatu metode pengasutan (starting) dengan pengurangan tegangan pada motor induksi dan dinaikan secara bertahap yang bertujuan untuk mengurangi arus pengasutan awal.

Kompressor udara (air compressor) adalah salah satu peralatan dalam dunia industri khususnya pada sistem utility yang dimana bertujuan untuk menyuplai udara bertekanan. Penggunaan compressor begitu

sangat vital untuk menunjang sistem pneumatic dalam proses produksi, sehingga compressor diharapkan selalu dalam kondisi prima. Mengingat begitu pentingnya peran compressor dalam menyuplai tekanan udara pada sistem pneumatic, motor induksi 3 Fasa yang menjadi bagian utama dalam sistem kerja compressor harus mendapatkan perhatian lebih dalam sistem keamanannya.

Soft starter adalah suatu cara penurunan tegangan starting dari motor induksi AC. Soft starter merupakan metode starting yang prinsipnya sama dengan starting motor menggunakan primary resistance yang diseri dengan supply tegangan ke motor, arus masuk sama dengan arus keluar. Soft starting terdiri dari komponen thyristor untuk mengontrol aliran arus yang masuk ke motor, sehingga tegangan akan masuk secara bertahap. Beberapa industri menggunakan compressor dengan metode starting soft starter karena dari segi efisiensi daya soft starter lebih unggul dibanding metode starting lainnya.

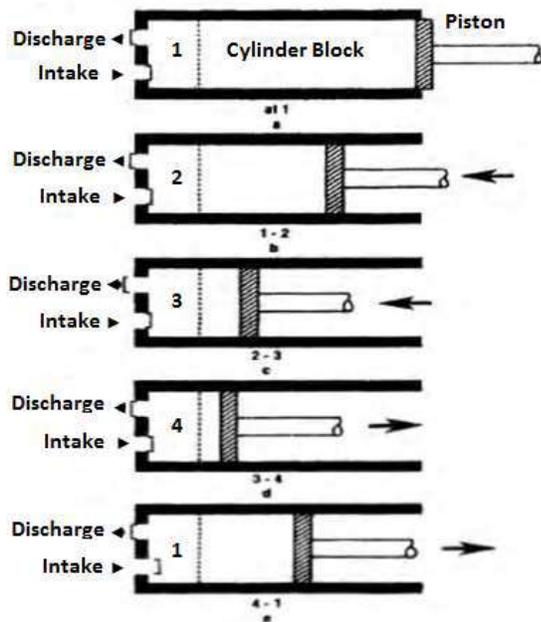
## 3. LANDASAN TEORI

### 2.1 *Reciprocating Compressor*

Kompressor piston/torak atau lebih sering disebut Reciprocating Compressor adalah kompressor yang menggunakan sistem torak atau piston yang bergerak di dalam silinder untuk mengkompres udara. tabung silindernya memiliki 2 buah port, yaitu port inlet (suction) dan port outlet (discharge). Pada saat piston berada di atas atau di dekat port inlet (suction) dan port outlet (discharge) di dalam silinder dan bergerak turun maka udara dari port inlet (suction) akan masuk memenuhi silinder. Lalu ketika piston bergerak naik atau ke atas maka udara yang berada pada tabung silinder akan di pompa dan terkompres keluar melalui port outlet (discharge).

Kompressor piston tidak dapat melakukan putaran tinggi, karena dapat menghasilkan gaya inersia akibat gerak bolak-baliknya. Sehingga dengan putaran yang tinggi akan mengakibatkan gaya inersia juga tinggi, hal ini akan menimbulkan getaran yang tinggi

dan dapat memicu kerusakan komponen-komponen mekanik kompresor<sup>[7]</sup>.



Kompresor piston memiliki 2 jenis tipe yaitu Kompresor piston dengan sistem kerja tunggal dan Kompresor piston sistem kerja ganda. Kompresor piston dapat juga digunakan untuk menghasilkan udara yang bebas oli. Kita bisa memasang Filter Oli khusus yang di pasang pada jalur pipa atau menggunakan Kompresor piston oil free.

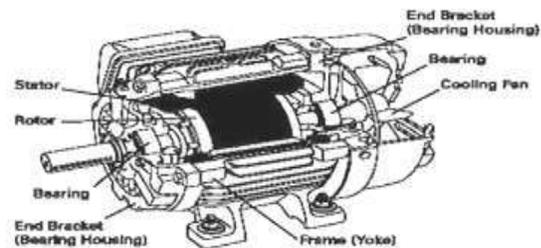
**2.2 Motor Listrik 3 Fasa**

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi<sup>[12]</sup>.

Motor induksi 3 fasa merupakan salah satu cabang dari jenis motor listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak berupa putaran. Motor induksi ini merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaanya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai

adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator<sup>[2]</sup>.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ( $n_s = 120f/2p$ ). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum Lentz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar pula arus induksi pada rotor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar.



**2.3 Starting Motor 3 Fasa**

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus pengasutan juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan daya besar tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung, untuk menghindari hal tersebut, suatu motor induksi seringkali di start dengan level tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominalnya.

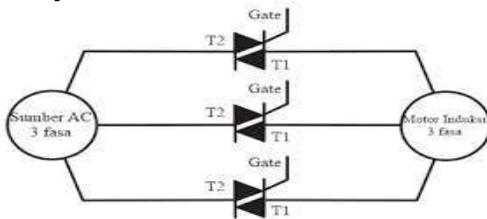
Starting motor induksi dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :

1. Direct On Line (DOL)
2. Star – Delta ( Y-Δ)
3. Autotransformer Starter

4. Soft Starter
5. Frequency Drive

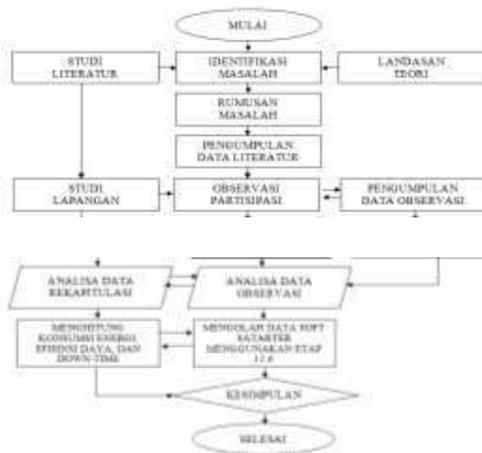
**2.4 Soft Starter**

Starting dengan cara ini dipergunakan untuk mengatur/ memperhalus start dari elektrik motor. Soft starter sangat berbeda dengan starter lain, karena metode starting ini mempergunakan thyristor sebagai komponen utamanya. Tegangan yang masuk ke motor akan diatur dimulai dengan sangat rendah sehingga arus dan torsi saat start juga rendah. Pada saat start ini tegangan yang masuk hanya cukup untuk menggerakkan beban dan akan menghilangkan kejutan pada beban. Secara perlahan tegangan dan torsi akan dinaikan sehingga motor akan mengalami percepatan sehingga tercapai kecepatan normal. Salah satu keuntungan mempergunakan alat ini adalah kemungkinan dilakukannya pengaturan torsi pada saat yang diperlukan, tidak terpengaruh ada atau tidaknya beban.



**3. METODE PENELITIAN**

**3.1. Langkah – langkah Penelitian**



Adapun langkah-langkah penelitian secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka dan referensi yang mengacu pada kompresor dan metode starting motor induksi 3 fasa.
2. Melakukan studi lapangan dan observasi mengenai kasus seputar permasalahan kompresor dan metode starting motor induksi 3 fasa.
3. Membuat rancangan penelitian dan observasi mengenai installasi, konsumsi energi, efisiensi daya, maintenance, dan down-time pada kompresor dan motor induksi 3 fasa.

**3.2. Teknik Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengukuran yang didapatkan dari alat ukur seperti :

1. Multitester
2. Tang ampere
3. Insulation tester

**3.3. Perhitungan Data**

Perhitungan data yang telah diambil akan dihitung dan diolah dengan menggunakan beberapa rumus dan juga aplikasi ETAP 12.6 yang berguna untuk mengetahui seberapa besar arus starting motor induksi 3 fasa yang menggunakan metode soft starter.

1. Besar Pengasutan Arus<sup>[11]</sup>

$$I_{FL} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times Eff \times Cos \varphi}$$

$$I_s = I_{set\%} \times I_{FL}$$

Dimana :

- P : Daya Motor Induksi (W)
- $\sqrt{3}$  : 3 Fasa (Tegangan 380V~)
- V : Tegangan Motor Induksi (V)
- Eff : Effisiensi
- Cos  $\varphi$  : Faktor Daya
- $I_{set\%}$  : Arus Atur Ideal
- $I_{FL}$  : Arus Nominal (A)
- $I_s$  : Arus Asut (A)

2. Kecepatan Putaran<sup>[11]</sup>

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

Dimana :

- P : Jumlah Kutub/Pole Motor
- f : Frequency (Hz)
- 120 : Konstanta
- n : Kecepatan Putar Motor (Rpm)

3. Torsi Motor<sup>[11]</sup>

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

$$T = \frac{9,55 \times P}{n}$$

Dimana :

- T : Besar Torsi Motor (Nm)
- P : Daya Motor (kW)
- n : Kecepatan Putar Motor (Rpm)
- $\omega$  :  $2\pi \times n/60$
- 9,55 : Konstanta

4. Besar Daya Input Dan Output Motor<sup>[11]</sup>

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

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I \times Eff \times \cos \varphi$$

Dimana :

- I : Arus (A)
- $\sqrt{3}$  : 3 Fasa (Tegangan 380V~)
- P : Daya Motor Induksi (W)
- V : Tegangan Motor Induksi
- cos  $\varphi$  : Faktor Daya
- Eff : Efisiensi Motor Induksi

5. Slip Pada Motor<sup>[11]</sup>

$$Slip\% = \frac{n_s - n}{n} \times 100$$

Dimana :

- n : Kecepatan Motor (rpm)
- $n_s$  : Kecepatan Motor Sinkron (rpm)
- Slip% : Slip Motor (%)

6. Efisiensi Daya<sup>[11]</sup>

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

Dimana :

- $\eta$  : Efisiensi Motor (%)
- $P_{out}$  : Daya Keluar Motor (kW)
- $P_{in}$  : Daya Masuk Motor (kW)

3.4 Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa



Spesifikasi motor induksi 3 fasa :

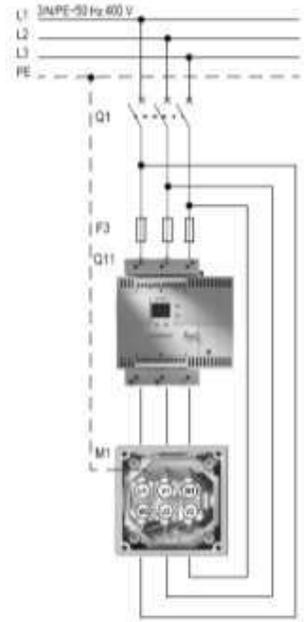
- V : 380 Volt Hub, Delta
- f (frequency) : 50 Hz
- Daya : 160 kW
- Putaran : 1485 r/min
- I : 301 A
- cos  $\varphi$  : 0,85
- Eff : 94,9 % - IE2

3.5 Spesifikasi Soft Starter



Spesifikasi Siemens Sirius Soft Starter 3RW44 :

- Starting Class : 350% I<sub>n</sub> Motor
- Start Voltage (%): 50 %
- Starting Time (s) : 10 s
- Current Limit Value : 4 x I<sub>M</sub>
- Starting Torque : 40 % (Locked Rotor)
- End Torque : 150 % (Max Torque)
- Breakaway Pulse : Deactive (0 ms)



**4. HASIL ANALISA**

**4.1. Perhitungan menggunakan Rumus**

Data yang peroleh penulis selama melakukan observasi akan dianalisa menggunakan rumus perhitungan yang akan membantu untuk perhitungan menggunakan ETAP 12.6 dan akan dibandingkan selisih dari perhitungan tersebut

1. Kecepatan Motor

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{4}$$

$$n_s = 1500 \text{ rpm}$$

2. Slip Pada Motor

$$Slip\% = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

$$Slip = \frac{1500 - 1485}{1500} \times 100\%$$

$$Slip = 1\%$$

3. Torsi Putaran Penuh

$$T = \frac{P_{out}}{\omega}$$

$$T = \frac{160000}{2\pi \times 1485/60}$$

$$T = 1028.88 \text{ Nm}$$

atau

$$T = 758.86 \text{ lb ft}$$

t (second)	Rpm	$Slip\% = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$	Slip%
1	450	$Slip\% = \frac{1500 - 450}{1500} \times 100\%$	70%
2	900	$Slip\% = \frac{1500 - 900}{1500} \times 100\%$	40%
3	1200	$Slip\% = \frac{1500 - 1200}{1500} \times 100\%$	20%
4	1245	$Slip\% = \frac{1500 - 1245}{1500} \times 100\%$	17%
5	1275	$Slip\% = \frac{1500 - 1275}{1500} \times 100\%$	15%
6	1320	$Slip\% = \frac{1500 - 1320}{1500} \times 100\%$	12%
7	1380	$Slip\% = \frac{1500 - 1380}{1500} \times 100\%$	8%
8	1455	$Slip\% = \frac{1500 - 1457}{1500} \times 100\%$	3%
9	1470	$Slip\% = \frac{1500 - 1470}{1500} \times 100\%$	2%
10	1485	$Slip\% = \frac{1500 - 1485}{1500} \times 100\%$	1%

4. Besar Arus Starting (350% FLA)

$$I_{FL} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times Eff \times Cos \varphi}$$

$$I_{FL} = \frac{160000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.949 \times 0.85}$$

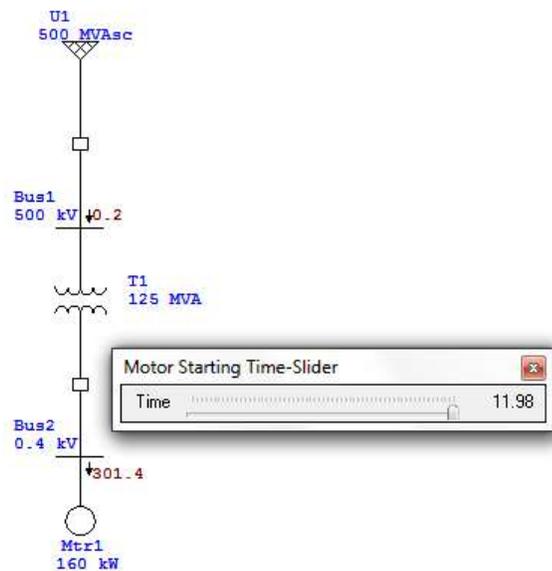
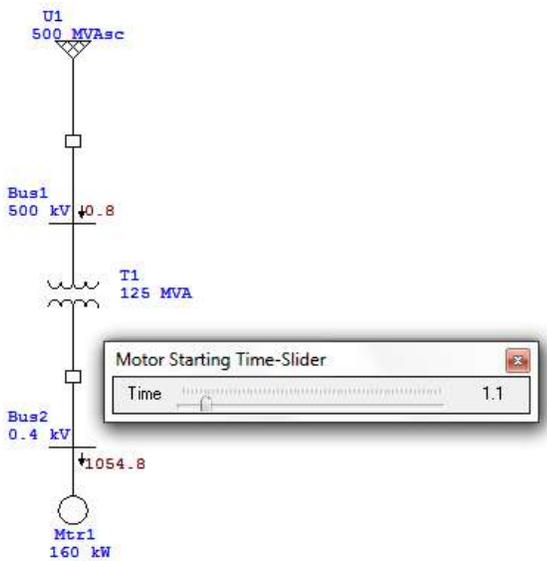
$$I_{FL} = 301,36 \text{ A}$$

$$I_s = I_{set} \times I_{FL}$$

$$I_s = 350\% \times 301,36$$

$$I_s = 1054,77 \text{ A}$$

### 4.2. Perhitungan menggunakan ETAP



Hasil analisa yang diperoleh baik dengan menggunakan perhitungan rumus manual ataupun menggunakan software ETAP 12.6 dapat membantu untuk perhitungan seberapa besar efisiensi daya yang dihasilkan oleh motor induksi 3 fasa dengan metode starting soft starter dan menggunakan rangkaian soft starter inside delta circuit

Locked Rotor	Speed		Torque		Current		% PF	% Eff
	% Slip	RPM	%	g-B	%	Amp		
Max. Torque	2.80	1487.0	180.0	3148.2	196.6	393.2	68.2	66.7
2.00	1470.0	143.1	1088.1	163.8	494.2	78.1	81.8	
1.00	1483.0	100.2	780.2	99.6	301.4	34.9	94.9	
Full Load	1.88	1485.0	100.2	780.2	99.6	301.4	84.9	94.9

Bisa disimpulkan bahwa pada saat locked rotor hingga sampai maximum torque, besar arus pada motor induksi 3 fasa mengalami penurunan secara bertahap, namun pada saat maximum torque telah tercapai besar arus pada motor secara signifikan mengalami penurunan ketika menuju full load, yang dapat diansumsikan bahwa adanya by pass yang dilakukan oleh kontaktor delta ketika akselerasi sudah tercapai yaitu pada 1458 rpm (torsi 150%) – 1485 rpm (torsi 100%). Dengan terjadinya by pass pada contactor terhadap softstarter, maka besar arus yang masuk akan turun menjadi (1/√3) dari arus nominal yaitu sebesar 58%

### 4.3 Perhitungan Berdasarkan Data Observasi

#### 1. Daya Input

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

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 380 \times 301 \times 0,85$$

$$P_{in} = 169,188 \text{ kW} = 169 \text{ kW}$$

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

$$\eta\% = \frac{92 \text{ kW}}{97 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta\% = 94,84\%$$

2. Daya Output

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Eff} \times \cos \varphi$$

$$P_{out} = \sqrt{3} \times 380 \times 301 \times 0,949 \times 0,85$$

$$P_{out} = 159,807 \text{ kW} = 160 \text{ kW}$$

3. Effisiensi Daya

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

$$\eta\% = \frac{160 \text{ kW}}{169 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta\% = 94,67\%$$

4.4 Perhitungan Berdsarkan *Soft Starter Inside Delta Circuit*

1. Arus Nominal Motor Induksi 3 Fasa

$$I_n = \frac{P_{out}}{\sqrt{3} \times V \times \text{Eff} \times \cos \varphi}$$

$$I_n = \frac{160000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,949 \times 0,85}$$

$$I_n = 301,36 \text{ A} = 301 \text{ A}$$

2. Arus Nominal Motor Induksi 3 Fasa *By Pass Contactor Delta*

$$I_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_n$$

$$I_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 301$$

$$I_c = 173,99 \text{ A} = 174 \text{ A}$$

3. Daya Input *By Pass Contactor Delta*

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

$$P_{in} = \sqrt{3} \times 380 \times 174 \times 0,85$$

$$P_{in} = 97,34 \text{ kW} = 97 \text{ kW}$$

4. Daya Output *By Pass Contactor Delta*

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Eff} \times \cos \varphi$$

$$P_{out} = \sqrt{3} \times 380 \times 174 \times 0,949 \times 0,85$$

$$P_{out} = 92,38 \text{ kW} = 92 \text{ kW}$$

5. Effisiensi Daya

4.5 Perbandingan Daya Sebelum Dan Sesudah *By Pass Contactor Delta*

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

$$\eta\% = \frac{160}{92} \times 100\%$$

$$\eta\% = 173,91\%$$

4.6 *Preventive Maintenance*

Dalam melakukan *preventive maintenance* pada unit *reciprocating compressor* dan motor induksi 3 fasa, penulis telah melakukan studi literatur dan analisa data rekapitulasi mengenai UMI (*unser Manual Instructuion*) yang telah diberikan oleh pihak *Ateliers François* kepada stiap teknisi yang melakukan pekerjaan dilapangan



UMI mencakup keseluruhan instruksi kepada teknisi mengenai tata cara dan informasi mengenai *maintenance*, sedangkan untuk daily check dan *maintenance* jangka panjang akan ditentukan sesuai dengan kondisi mesin dilapangan.

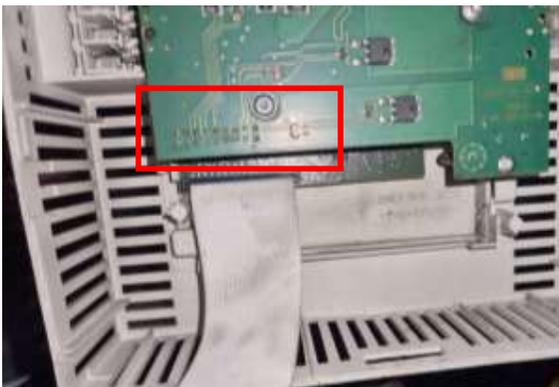
#### 4.7 Downtime

Preventive jangka panjang memerlukan banyak waktu dan tentu menimbulkan *downtime* pada mesin yang dapat mengganggu aktivitas produksi pada sebuah perusahaan. Lamanya waktu *downtime* tergantung pada jenis permasalahan pada *compressor*, sedangkan pada bagian *electrical* yang menyangkut *soft starter* pada *compressor*, lamanya waktu *downtime* tergantung pada kerusakan rangkaian atau sistem kontrol.

Untuk rangkaian *soft starter inside delta circuit* kerusakan paling umum terjadi pada *delta contactor* yang dimana pada bagian *comtac point* mengalami terbakar atau gosong akibat dari arus yang tidak stabil dan adanya masalah pada relay.



Untuk masalah pada *soft starter* tersendiri menurut hasil observasi yang dilakukan penulis adalah sangat jarang terjadi kerusakan pada *soft starter* itu sendiri kecuali adanya kondensasi yang terjadi pada sistem pendingin panel yang mengakibatkan tetesan air atau embun sehingga mengenai *circuit board* pada *soft starter*



#### 5. KESIMPULAN

Dengan memperhatikan data pengamatan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Soft starter* dapat mengurangi lonjakan arus berlebih pada motor induksi 3 fasa yang berada pada *reciprocating compressor* karena *soft starter* memiliki *current limit value* sebesar  $4 \times I_M$  dan arus asutnya diatur dengan *current control* 350% menjadi sebesar 1054,77 A dari arus nominal sebesar 301,36 A.
2. Penggunaan *soft starter* pada motor induksi 3 fasa juga berperan dalam penghematan waktu starting, dengan waktu starting yang diatur selama 10 detik dan pengaturan torsi awal starting 40% hingga mencapai max torsi 150%, sehingga beban starting pada motor tidaklah terlalu besar dan tidak pula memakan waktu untuk mencapai torsi maximum
3. *Soft starter* yang dirangkai secara *inside delta circuit* besar arus yang masuk akan turun menjadi  $(1/\sqrt{3})$  dari arus nominal yaitu sebesar  $\pm 58\%$  pada saat melakukan *by pass contactor delta*. Dari arus nominal 301,36 A menjadi sebesar 173,99 A dengan menggunakan perhitungan  $I_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_n$ .
4. *Soft starter inside delta circuit* terbukti dapat menurunkan arus sebanyak 58% dari arus nominal, dengan hasil tersebut tentu daya yang dikeluarkan akan ikut turun dengan catatan tegangan yang mengalir tetaplah sama sesuai dengan perhitungan dimana  $P = \frac{1}{\sqrt{3}} \times V \times I \times \cos\phi \times Eff$ . Daya yang semula sebesar 159,807 kW menjadi 92,38 kW.
5. Untuk efisiensi daya yang dihasilkan *soft starter* adalah sebesar 94,67% dalam kurun waktu 10 detik dari torsi awal 40% hingga mencapai torsi maximum 150% dan efisiensi daya yang dihasilkan pada saat *by pass contactor delta* adalah

- sebesar 94,84% ketika kondisi torsi maximum 150% menuju *full load* 100%.
6. Sedangkan untuk perbandingan daya sebelum dan sesudah *by pass contactor delta* adalah sebesar 173,91%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sularso, Haruo Tahara. "*Pompa dan kompresor.*" Jakarta: PT. Pradaya Paramita (2004).
- [2] Zuhail, Mahfud. "*Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*". Gramedia, Jakarta 72 (1998).
- [3] Julie, King. "*Compressors CM4120*". (2003).
- [4] Bal Ballaney, P. L. "Applied Thermodynamics". India, Khanna, (1980).
- [5] US. Departement of Energy. "*Industrial Technologies Program Energy Efficiency and Renewable Energy*". Washington, DC, (2003).
- [6] Parsa, I., Nyoman Bagia, and I. Made. "*Motor-Motor Listrik*". Kupang: Rasibook (2018).
- [7] Hanlon, Paul C. "*Compressor handbook*". McGraw-Hill Professional (2001).
- [8] The Piping Talk. "*Centrifugal Compressor Parts and Their Function*". (2020).
- [9] Soft In Way Incorporated. "*Axial Compressor/Fan Design Software – AxSTREAM®*". (2020).
- [10] ISTE International. "*Rod Drop Measurements for Reciprocating Compressors*". (2020).
- [11] Siswoyo. "*Teknik Listrik Industri Jilid 2*". Direktorat Jendral Manajemen Pembinaan SMK. (2008).
- [12] Sumardjati, Prih. "*Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*". (2008)
- [13] Brown, Royce N. "*Compressors: Selection and sizing*". Gulf Professional Publishing, (1997).
- [14] Bloch, Heinz & Hoefner, John. "*Reciprocating Compressors: Operation and Maintenance*". (2006).
- [15] Eickemeyer, Steffen C. "*Reliable Capacity Planning Despite Uncertain Disassembly, Regeneration and Reassembly Workloads by Using Statistical and Mathematical Approaches*". Validation in Subsidiaries of a Global MRO Company with Operations in Asia, Europe and North America. (2014).
- [16] Riyadi, Dwi. "*Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa*". Semarang: Teknik Elektro Universitas Diponegoro. (2001).
- [17] Huda, D. N. "*Pengujian Unjuk Kerja Variabel Speed Drive Vf-S9 Dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa 1 Hp*". Politeknik Negeri Bandung, (2012).
- [18] Loemau, Willem. "*Memperbaiki Kerusakan pada Sistem Starting*". Jakarta (2000).
- [19] Christhope, L. "*Ateliers François Operator Manual*". Ateliers François corporation. Belgium (2018).
- [20] Christhope, L. "*Ateliers François User Manual Instruction*". Ateliers François corporation. Belgium (2018).
- [21] Siemens AG. "*SIRIUS Soft starters 3 RW 44 manual*", pp.86-92, (2007).
- [22] Siemens AG. "*SIRIUS Power Contactor 3RT5 Data Sheet*", pp.86-92, (2007).
- [23] Kjellberg, Magnus. Kling, Sören. "*Soft Starter Handbook*". ABB Automation Technologies AB/Cewe-Control, SE-721 61 Västerås, Sweden, (2003)
- [24] Hutapea, Maritje. "*Energy Efficiency and Conservation Policy in Indonesia*". Ministry of Energy and Mineral Resources, Jakarta (2013).
- [25] Chapman, Stephen J. "*Electric machinery fundamentals fifth edition*". McGraw-Hill Higher Education, (2012)
- [26] Liang, W., Pang, L., Zhang, L., & Hu, J. "*Reliability-centered maintenance study on key parts of reciprocating compressor*". In 2012 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety

- Engineering (pp. 414-418). IEEE. (2012).
- [27] Salim, Muhammad. "*Sistem 3 Phasa*". (2012).
- [28] Samsul, Eka. "*Pengendalian Motor Listrik dengan Direct Online*". (2017).
- [29] Indrawan, Beny. "*Akar Tiga pada Tegangan Tiga Fasa*". (2015).
- [30] Waide, Paul & Brunner, Conrad. "*Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*". (2011).