

### 3. PERENCANAAN

#### 3.1 Perencanaan Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa yang digunakan pada percobaan ini adalah motor 3HP sebagai *idler* dan motor 2HP sebagai beban yang dioperasikan pada beban kosong. Berikut adalah spesifikasi dari motor yang akan digunakan:

Tabel 3.1 Spesifikasi motor induksi tiga fasa

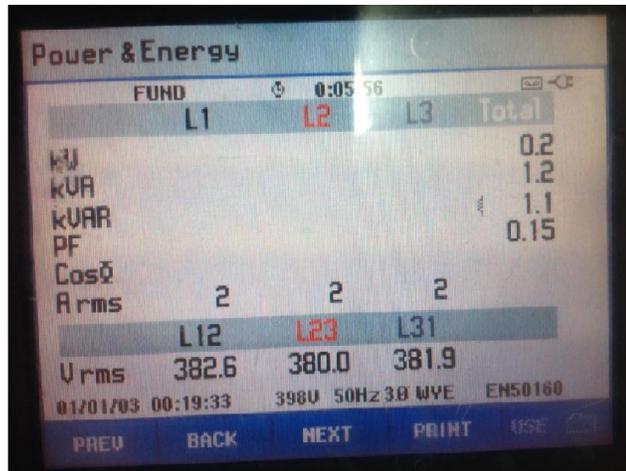
Spesifikasi	3 HP	2 HP
Daya	2.25 KW	1.5 KW
Tegangan $\Delta$ / Y	220/380 V	220 / 380 V
Arus $\Delta$ / Y	8.1 / 4.7 A	7 / 4 A
Frekuensi	50 Hz	50 Hz
Jumlah kutub	2	4
RPM	2840	1420 / 1720

Pengujian motor induksi hanya dilakukan pada motor induksi 3HP karena motor induksi 3HP akan dijadikan sebagai *idler* pada rangkaian *rotary converter*. Pada pengujian motor induksi dirangkai secara Y (*wye*), karena memiliki arus yang kecil dan lebih mudah mendapatkan sumber tiga fasa 380 V.

Pengujian yang dilakukan ada tiga yaitu pengujian tanpa beban, pengujian DC untuk penentuan tahanan stator, dan pengujian rotor ditahan.

##### 3.1.1 Pengujian tanpa beban

Pengujian ini dilakukan tanpa menggunakan beban dan dirangkai seperti gambar 2.7. Dari pengujian tanpa beban, data yang didapatkan dari gambar 3.2 adalah:



Gambar 3.1 Pengukuran percobaan tanpa beban

Tabel 3.2 Hasil pengukuran percobaan tanpa beban

$V_{RS} = 382.6 \text{ V}$	$I_R = 2 \text{ A}$	$P_{TOTAL} = 0.2 \text{ kW}$
$V_{ST} = 380.0 \text{ V}$	$I_S = 2 \text{ A}$	
$V_{TR} = 381.9 \text{ V}$	$I_T = 2 \text{ A}$	

Dari tabel 3.2 maka dapat ditentukan nilai tegangan, arus, daya, dan frekuensi pada saat tanpa beban:

$$P = 0.2 \text{ kW} \approx 200 \text{ W}$$

$$V_{L \text{ to } L} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3} = \frac{3826 + 3800 + 3819}{3} = 381.5 \text{ V}$$

$$I_{L \text{ to } L} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{2 + 2 + 2}{3} = 2 \text{ A}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

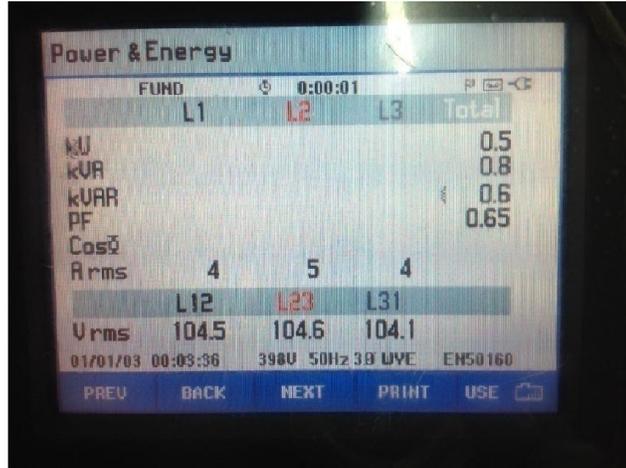
### 3.1.2 Pengujian DC untuk penentuan tahanan stator

Pengujian ini dilakukan dirangkai seperti gambar 2.9. Dari pengujian tegangan DC, data yang didapatkan adalah  $V_{DC} = 14.86 \text{ V}$  dan  $I_{DC} = 1.74 \text{ A}$ . Dari data yang didapat maka dapat memperoleh nilai tahanan stator yaitu menggunakan persamaan 2.12 karena motor dirangkai secara *star*.

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} = \frac{14.86}{1.74} = 4.27 \Omega$$

### 3.1.3 Pengujian rotor ditahan

Pengujian ini dilakukan dengan keadaan rotor ditahan (terkunci), dan dirangkai seperti gambar 2.10. Dari pengujian rotor ditahan, data yang didapatkan dari gambar 3.3 adalah:



Gambar 3.2 Pengukuran percobaan rotor ditahan

Tabel 3.3 Hasil pengukuran percobaan rotor ditahan

$V_{RS} = 104.6 \text{ V}$	$I_R = 5 \text{ A}$	$P_{TOTAL} = 0.5 \text{ kW}$
$V_{ST} = 104.6 \text{ V}$	$I_S = 5 \text{ A}$	
$V_{TR} = 103.9 \text{ V}$	$I_T = 5 \text{ A}$	

Dari tabel 3.3 maka dapat menentukan nilai tegangan, arus, daya, dan frekuensi pada saat rotor terkunci:

$$P = 0.5 \text{ kW} \approx 500 \text{ W}$$

$$V_{L \text{ to } L} = \frac{V_{RS} + V_{ST} + V_{TR}}{3} = \frac{1046 + 1046 + 1039}{3} = 104.37 \text{ V}$$

$$I_{L \text{ to } L} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{5 + 5 + 5}{3} = 5 \text{ A}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Dari data yang diperoleh arus 5A adalah hasil pembulatan dari alat ukur yang digunakan, besaran arus tersebut mendekati arus nominal dari motor yang dirangkai secara *star* yaitu 4.7A. Tegangan yang digunakan untuk mencapai arus nominal adalah 104.73 V.

### 3.1.4 Rangkaian Ekuivalen

Setelah melakukan beberapa percobaan yang dilakukan pada motor induksi, maka dari data tersebut dapat menentukan konstanta – konstanta pada motor induksi. Konstanta pada motor induksi yang akan dicari adalah  $R_1$  (tahanan stator),  $R_2$  (tahanan rotor),  $X_1$  (reaktansi stator),  $X_2$  (reaktansi rotor),  $R_c$  (tahanan inti), dan  $X_M$  (reaktansi magnetisasi). Data – data yang didapatkan dari tiga percobaan diantaranya:

Tabel 3.4 Data hasil percobaan tanpa beban dan rotor terkunci

Data	Percobaan Tanpa Beban	Percobaan Rotor Ditahan
Input Power	200 W	500 W
Line to Line Voltage	381.5 V	104.37 V
Line Current	2 A	5 A
Frekuensi	50 Hz	50 Hz

Tabel 3.5 Data hasil percobaan tegangan DC pada stator

Data	Percobaan Tegangan DC pada Stator
<i>DC Voltage</i>	14.86 V
<i>DC Current</i>	1.74 A
Resistansi Stator	4.27 $\Omega$

Dari tabel 3.4 dan tabel 3.5 maka dapat menentukan konstanta motor induksi:

Diketahui  $V_{NL} = 381.5V$ ,  $I_{NL} = 2A$ ,  $P_{NL} = 200W$ ,  $F_{NL} = 50Hz$ ,  
 $V_{LR} = 104.37V$ ,  $I_{RL} = 5A$ ,  $P_{RL} = 500W$ ,  $F_{RL} = 50Hz$ ,  
 $R_1 = 4.27 \Omega$

Maka dari persamaan 2.16 dapat menentukan nilai  $Z_{NL}$  dan  $Z_{RL}$ ,

$$Z_{NL} = \frac{V_{NL}/\sqrt{3}}{I_{NL}}$$

$$Z_{NL} = \frac{3815/\sqrt{3}}{2}$$

$$Z_{NL} = 110.13 \Omega$$

$$Z_{RL} = \frac{V_{RL}/\sqrt{3}}{I_{RL}}$$

$$Z_{RL} = \frac{1043.7/\sqrt{3}}{5}$$

$$Z_{RL} = 12.05 \Omega$$

Dari persamaan 2.15, maka dapat menentukan  $\theta$ :

$$P3\phi = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_L \times \cos \theta$$

$$\theta = \arccos \left( \frac{P_{LR}}{\sqrt{3} V_{LR} I_{LR}} \right)$$

$$\theta = \arccos \left( \frac{500}{\sqrt{3} \times 0.4375} \right)$$

$$\theta = 56.41^\circ$$

Maka dari persamaan 2.18, 2.19, dan 2.20 dapat menentukan  $R_{LR}$  dan  $X_{LR}$ :

$$Z_{LR} = R_{LR} + jX_{LR}$$

$$Z_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta + j|Z_{LR}| \sin \theta$$

$$Z_{LR} = 12.05 \cos 56.41^\circ + j12.05 \sin 56.41^\circ$$

$$Z_{LR} = 6.67 + j 10.04 \Omega$$

Maka dari persamaan 2.21 dapat menentukan  $R_2$ :

$$R_{LR} = R_1 + R_2$$

$$R_2 = R_{LR} - R_1$$

$$R_2 = 6.67 - 4.27$$

$$R_2 = 2.4 \Omega$$

Maka dari persamaan 2.22 dapat menentukan nilai  $X_1$  dan  $X_2$ , nilai  $X_1$  dan  $X_2$  umumnya sama sehingga:

$$X_1 = X_2 = 0.5 X_{LR}$$

$$X_1 = X_2 = 0.5 \times 10.04$$

$$X_1 = X_2 = 5.02 \Omega$$

Maka dari persamaan 2.10 kita dapat menentukan  $X_M$ :

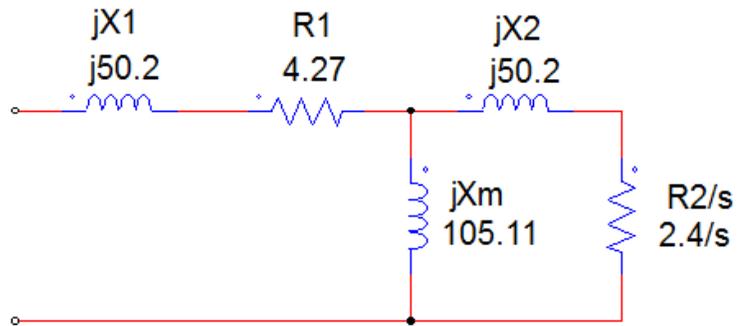
$$Z_{NL} = X_1 + X_M$$

$$X_M = Z_{NL} - X_1$$

$$X_M = 110.13 - 5.02$$

$$X_M = 105.11 \Omega$$

Setelah mendapatkan nilai konstanta dari motor induksi yaitu  $X_M$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X_1$ , dan  $X_2$ . Berikut rangkaian ekivalen motor induksi perfasa:

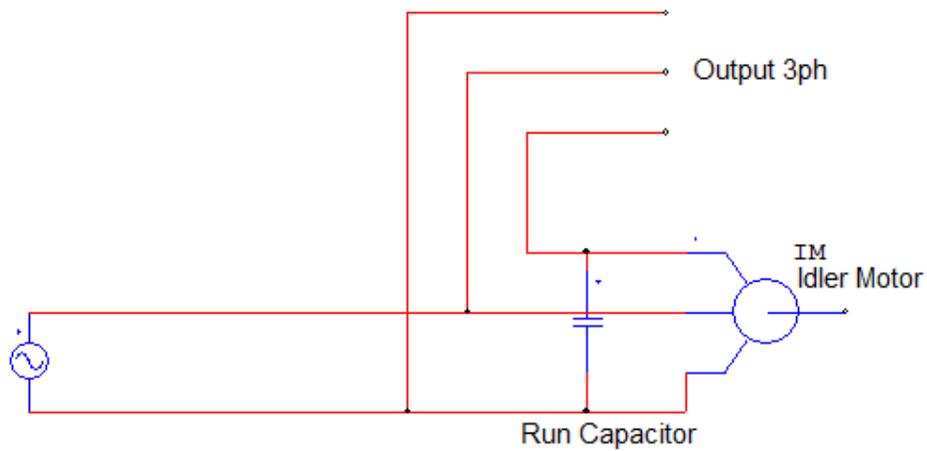


Gambar 3.3 Rangkaian ekivalen motor induksi

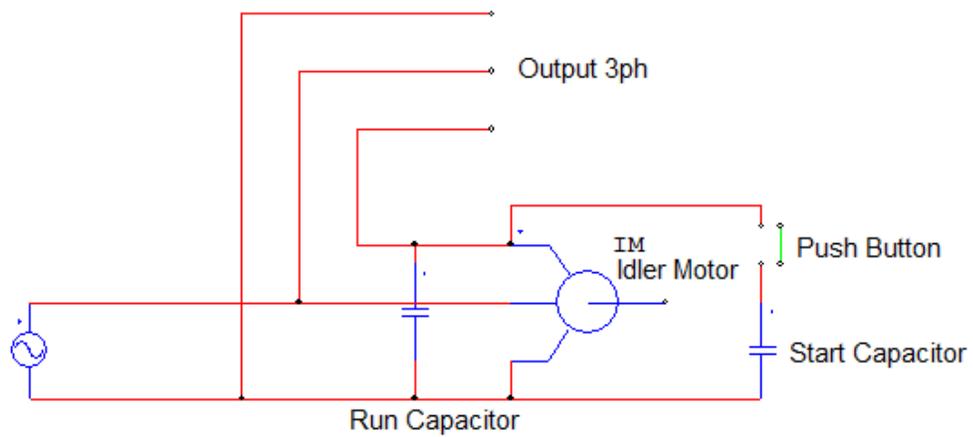
### 3.2 Penentuan Kapasitor

#### 3.2.1 Secara Percobaan

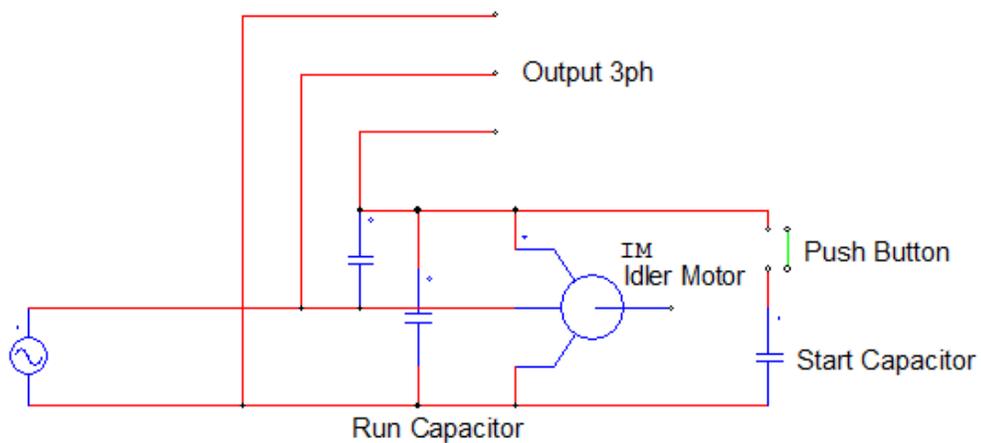
Pada perencanaan kapasitor *converter rotary* menggunakan 3 rangkaian, yaitu:



Gambar 3.4 Rangkaian *rotary converter* menggunakan 1 *Run Capacitor*



Gambar 3.5 Rangkaian *rotary converter* menggunakan 1 *Run Capacitor* 1 *Start Capacitor*



Gambar 3.6 Rangkaian *rotary converter* menggunakan 2 *Run Capacitor* dan 1 *Start Capacitor*

3 rangkaian diatas kapasitor diletakkan pada kumparan fasa yang tidak berhubungan dengan sumber ac satu fasa karena kapasitor membantu menaikkan tegangan dengan mensuplai daya reaktif. 3 rangkaian diatas akan dilakukan percobaan untuk mengetahui apakah *rotary converter* dapat menghasilkan sumber tegangan 3 fasa yang seimbang sudut  $120^\circ$  antar fasanya.

Dari rangkaian kapasitor pada gambar 3.5 dilakukan percobaan dengan menggunakan 1 buah 16  $\mu\text{F}$  *run capacitor* yang diletakkan pada fasa – fasa motor. Ketika diberikan *input* 220 V 1 fasa, pada keadaan ini motor tidak berputar, sehingga membutuhkan bantuan tangan untuk memutar. Ketika motor berputar maka dilakukan pengukuran, dan mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3.6 Data hasil percobaan gambar 3.5

rpm	517.4 rpm
$V_{RS}$	225.6 V
$V_{ST}$	114.0 V
$V_{TS}$	112.9 V

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa output tegangan yang keluar dari *rotary converter* tidak seimbang karena tidak mencapai 220 V 3 fasa.

Pada gambar 3.6 percobaan dilakukan dengan menggunakan 1 buah 16  $\mu\text{F}$  *run capacitor* dan 1 buah 200  $\mu\text{F}$  *start capacitor*. Pada rangkaian ini *start capacitor* digunakan sebagai *start* dari motor agar dapat mencapai rpm maksimum. *Start capacitor* digunakan hanya beberapa detik hingga motor mencapai rpm maksimum. Ketika motor mencapai putaran maksimum maka dapat dilakukan pengukuran, dan hasilnya sebagai berikut:

Tabel 3.7 Data hasil percobaan gambar 3.6

rpm	2945.8 RPM
$V_{RS}$	225.5 V
$V_{ST}$	206.6 V
$V_{TS}$	212.9 V

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa motor telah berputar pada rpm maksimum dan tegangan yang dihasilkan mencapai nilai nominal dan seimbang.

Pada gambar 3.7 percobaan dilakukan dengan menggunakan 2 buah 16  $\mu\text{F}$  *run capacitor* dan 1 buah 200  $\mu\text{F}$  *start capacitor*. Pada rangkaian ini ditambahkan sebuah *run capacitor* untuk menyeimbangkan tegangan dari *output rotary converter*. Ketika motor mencapai putaran maksimum maka dapat dilakukan pengukuran, dan hasilnya sebagai berikut:

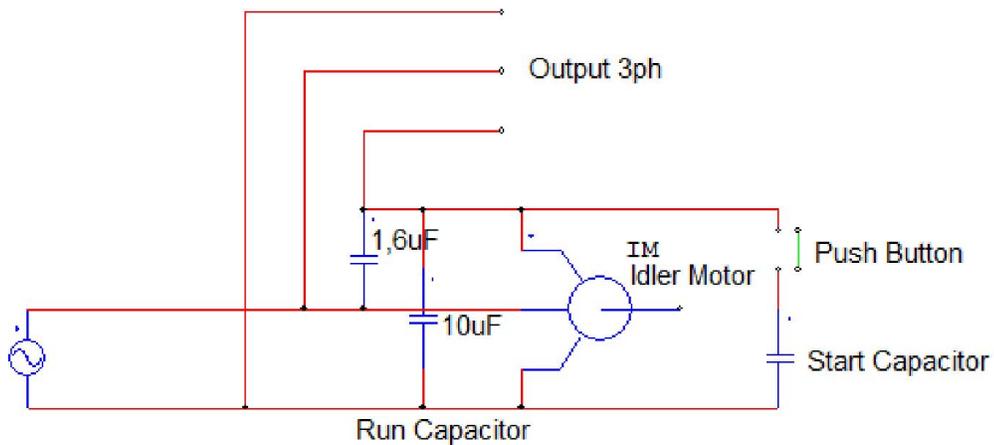
Tabel 3.8 Data hasil percobaan gambar 3.7

rpm	2995.8 rpm
$V_{RS}$	225.0 V
$V_{ST}$	276.0 V
$V_{TS}$	235.0 V

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa ketika motor berputar pada rpm maksimum, nilai tegangan yang dikeluarkan meningkat. Dengan begitu untuk mendapatkan tegangan yang mendekati 220 V 3 fasa maka diperlukan nilai *run capacitor* yang tepat.

Dari percobaan yang dilakukan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk membuat suatu *rotary converter* dibutuhkan sebuah *start capacitor* sebagai *start* awal putaran motor untuk mencapai rpm maksimum dan menggunakan 1 atau 2 buah *run capacitor* untuk menyeimbangkan *output* dari *rotary converter* sesuai kebutuhan.

Setalah melakukan percobaan dengan menggunakan beberapa nilai kapasitor yang berbeda, dengan kapasitor 10  $\mu\text{F}$  dan 1.6  $\mu\text{F}$  dirangkai seperti gambar 3.8 didapat hasil tegangan yang seimbang.



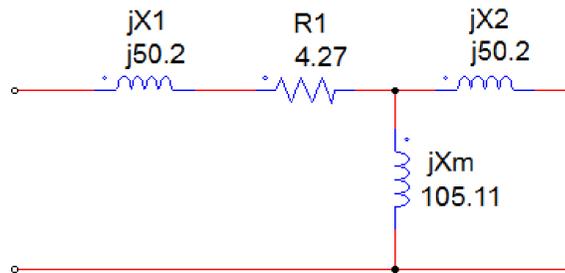
Gambar 3.7 Rangkaian *rotary converter* yang menghasilkan tegangan seimbang

Tabel 3.9 Data hasil percobaan gambar 3.8

rpm	2995.8 rpm
$V_{RS}$	231,5 V
$V_{ST}$	228,1 V
$V_{TS}$	226,3 V

### 3.2.2 Secara Perhitungan

Berdasarkan perhitungan maka jika diketahui rangkaian ekivalen dari sebuah motor induksi yang digunakan pada gambar 3.4. Motor digunakan sebagai *idler* maka rangkaian ekivalen menggunakan rangkaian ekivalen pengujian tanpa beban, dengan nilai  $s$  yang mendekati 0,001. Maka rangkaian ekivalen menjadi:



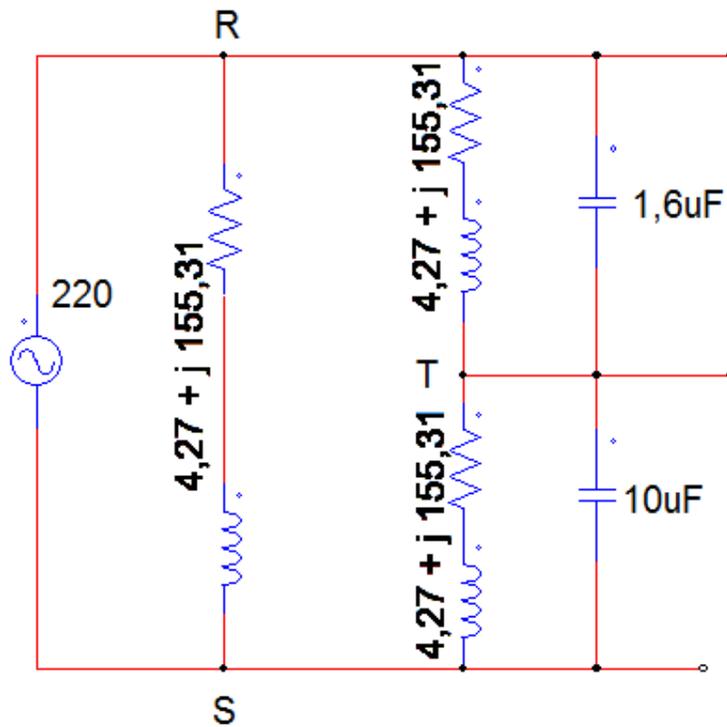
Gambar 3.8 Rangkain ekivalen tanpa beban

Maka nilai resistansi dari motor perfasa adalah:



Gambar 3.9 Nilai resistansi perfasa

Maka gambar dari rangkaian listrik dari motor induksi yang dirangkai Y (*wye*) dan diberikan kapasitor seperti pada gambar 3.8 adalah:



Gambar 3.10 Rangkaian Listrik dari gambar 3.8

Dari rangkaian diatas dengan menggunakan pembagi tegangan maka dapat mengetahui tegangan yang keluar dari *converter rotary*.

Diketahui:

$$V_{\text{input}} = 220 \angle 0^\circ$$

$$Z = 2,27 + j155,31$$

$$C_1 = 1,6 \text{ uF} = \frac{1}{j \omega C_1} = \frac{1}{j \cdot 100 \cdot 1,6 \times 10^{-6}} = \frac{1}{j 15849,6}$$

$$C_2 = 10 \text{ uF} = \frac{1}{j \omega C_2} = \frac{1}{j \cdot 100 \cdot 10 \times 10^{-6}} = \frac{1}{j 1000}$$

Ditanyakan:

$$X_{C1} = ??$$

$$X_{C2} = ??$$

$$V_{RT} = ??$$

$$V_{ST} = ??$$

Dijawab:

$$V_{RT} = \frac{Z // C_1}{Z // C_1 + Z // C_2} \times V_{\text{input}}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ST} &= \frac{Z//C_2}{Z//C_1 + Z//C_2} \times V_{input} \\
 Z//C_1 &= \frac{R_1}{R_1 + C_1} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 + j1553 + \frac{1}{j984}} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 + j1553 + \frac{1}{j984}} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 + j1553 - j1984} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 - j831} \\
 &= \frac{1553 \angle 78,3^\circ}{1834,4 - 837^\circ} \\
 &= \frac{30909 \angle 217,3^\circ}{1834,4 - 837^\circ} \\
 &= 282,16 \angle 268^\circ \\
 &= -8,37 - j282,04
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z//C_2 &= \frac{R_2}{R_2 + C_2} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 + j1553 + \frac{1}{j181}} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 + j1553 + \frac{1}{j181}} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 + j1553 - j181} \\
 &= \frac{47 + j1553}{47 - j163} \\
 &= \frac{1553 \angle 78,3^\circ}{1630,6 - 85^\circ} \\
 &= \frac{49453 \angle 178,3^\circ}{1630,6 - 85^\circ} \\
 &= 303,3 \angle 269,3^\circ \\
 &= -16,24 - j302,87
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z//C_1 + Z//C_2 &= -8,37 - j282,04 + -16,24 - j302,87 \\
 &= -24,61 - j584,91 \\
 &= 585,43 \angle 87^\circ
 \end{aligned}$$

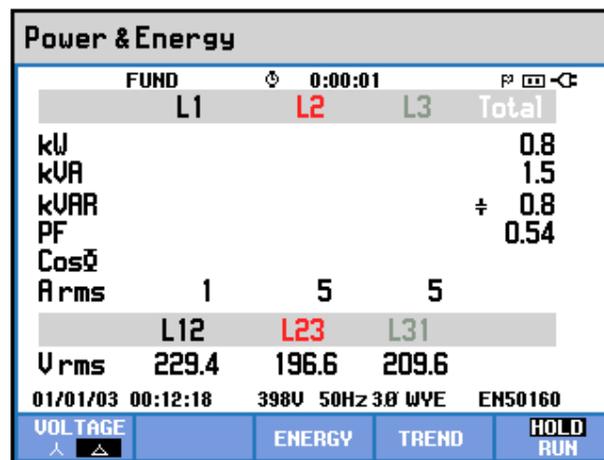
$$\begin{aligned}
 V_{RT} &= \frac{Z//C_1}{Z//C_1 + Z//C_2} \times V_{input} \\
 &= \frac{282,16 \angle 268^\circ}{585,43 \angle 87^\circ} \times 220 \angle 0^\circ \\
 &= 0,48 \angle 180,7^\circ \times 220 \angle 0^\circ \\
 &= 105,6 \angle 180,7^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ST} &= \frac{Z//C_2}{Z//C_1 // C_2} \times V_{input} \\
 &= \frac{303 \angle 26,93^\circ}{585,387} \times 220 \angle 0^\circ \\
 &= 0.51 \angle 179,33^\circ \times 220 \angle 0^\circ \\
 &= 113,9 \angle 179,33^\circ \text{ V}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan rangkaian listrik maka  $V_{RT} = 105,6 \angle 180,7^\circ \text{ V}$  dan  $V_{ST} = 113,9 \angle 179,33^\circ \text{ V}$ .

### 3.3 Beban Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa 2HP dijadikan sebagai beban. Beban yang tertulis adalah 1,5KW tetapi karena digunakan sebagai beban kosong, maka daya dari motor induksi 2HP adalah sebesar 800 Watt. 800 Watt diketahui karena pengukuran pada gambar 3.1 dan perhitungan.



Gambar 3.11 Pengukuran daya dari motor induksi 2HP

Diketahui I adalah  $I_R = 2.4\text{A}$ ,  $I_S = 4.3\text{A}$ ,  $I_T = 4.4\text{A}$  maka,

$$P = \frac{V_R}{\sqrt{3}} \cdot I_R \cdot \cos \theta + \frac{V_S}{\sqrt{3}} \cdot I_S \cdot \cos \theta + \frac{V_T}{\sqrt{3}} \cdot I_T \cdot \cos \theta$$

$$P = \frac{2294}{\sqrt{3}} \cdot 2,4 \cdot 0.54 + \frac{1966}{\sqrt{3}} \cdot 4,3 \cdot 0.54 + \frac{2096}{\sqrt{3}} \cdot 4,4 \cdot 0.54$$

$$P = 722,73 \text{ Watt}$$

### 3.4 Perencanaan Kabel

Pada *converter rotary* terdapat dua ukuran kabel yang harus diperhitungkan yaitu kabel dari sumber satu fasa menuju *rotary converter* dan kabel dari *rotary converter* menuju beban. Untuk dapat menghitung arus kabel dari *rotary converter* perlu diketahui arus maksimum dari beban. Beban pada pengujian ini adalah motor 2HP, spesifikasi dapat dilihat pada tabel 3.1. Motor dirangkai *delta* karena output dari *rotary converter* adalah 220V tiga fasa, jika *power factor* 0,54 dan arus maksimum dari motor induksi yang dipakai adalah 4.5 A maka berdasarkan peraturan *NEC Section 430-22(a)* kabel pada *rotary converter* menuju beban, nilai arus maksimum beban dikalikan 1,25 (125%) pada persamaan 2.23, maka:

$$I_{\text{kabel}} = I_L \times 125\%$$

$$I_{\text{kabel}} = 4,5 \times 125\%$$

$I_{\text{kabel}} = 5,625$  A, adalah arus maksimum kabel dari *rotary converter* menuju beban.

Pada kabel sumber satu fasa menuju *rotary converter*, nilai arus maksimum beban dikalikan 2,2 (220%) pada persamaan 2.24, maka:

$$I_{\text{kabel}} = I_L \times 220\%$$

$$I_{\text{kabel}} = 4,5 \times 220\%$$

$I_{\text{kabel}} = 9.9$  A, adalah arus maksimum kabel dari sumber satu fasa menuju *rotary converter*.

### 3.5 Perencanaan Pengaman

Pengaman berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dari sumber. Pengaman akan memutuskan listrik secara otomatis bila ada gangguan hubung singkat listrik (*short circuit*). Pengaman yang digunakan adalah MCCB. MCCB digunakan sebagai penghubung antara *rotary converter* (sebagai sumber) menuju beban. Arus maksimum dari motor induksi adalah 4,5 A maka berdasarkan peraturan *NEC Section 240-6* MCCB dari *rotary converter* menuju beban, nilai arus maksimum beban dikalikan 1,75 (175%) maka:

$$I_{\text{MCCB}} = I_L \times 175\%$$

$$I_{\text{MCCB}} = 4,5 \times 175\%$$

$I_{\text{MCCB}} = 7,87 \text{ A}$ , adalah arus maksimum MCCB dari *rotary converter* menuju beban.