

Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Inverter 3 Fasa

Yogi Pranata¹, Teguh Arfianto², Nandang Taryana³

^{1,2,3}Institut Teknologi Nasional

^{1,2,3}Jalan PH.H. Mustofa No.23 Bandung

yogipranata51@yahoo.com¹, teguh.arfianto@gmail.com², yanztar17@gmail.com³

Abstrak – Variabel speed drive adalah alat yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa, dengan cara mengatur frekuensi yang akan diberikan kepada motor induksi. Pengaturan frekuensi pada inverter bertujuan untuk melakukan penghematan daya dikarenakan pengaturan frekuensi berbanding lurus dengan pengaturan tegangan. Untuk mendapatkan nilai hasil penghematan daya menggunakan inverter, akan dilakukan pengujian pengaturan kecepatan motor menggunakan inverter dengan motor pompa agar debitnya bisa diatur dengan mengatur kecepatan putaran motor, debit yang diatur saat menggunakan inverter dayanya akan dibandingkan dengan pengaturan debit menggunakan throttle. Selisih daya yang dibutuhkan untuk mengeluarkan debit yang sama menunjukkan hasil penghematan energinya. Pengujian menggunakan throttle dengan debit fix yang keluarannya diatur pada putaran valve. Pengaturan debit menggunakan inverter dengan mengatur kecepatan putar motor dengan cara mengatur frekuensinya. Nilai selisih penggunaan daya adalah efisiensi penghematan dayanya. Hasil dari percobaan yang dilakukan, nilai penghematan dayanya sebesar 369,8 kWh/hari.

Kata kunci: Variabel speed drive, Motor induksi, Frekuensi dan daya

1. Pendahuluan

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan. Tetapi terdapat kelemahan pada motor induksi, yaitu sulitnya mengendalikan kecepatan. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatur kecepatan motor induksi yaitu dengan mengubah frekuensi yang masuk pada motor induksi. Mengubah frekuensi pada motor induksi juga berpengaruh pada daya yang dibutuhkan pada motor, semakin kecil frekuensi semakin kecil juga daya yang dibutuhkan. Jadi secara tidak langsung mengatur frekuensi dapat menghemat pemakaian daya. Alat yang dapat mengatur frekuensi pada motor induksi dinamakan dengan *variabel speed drive*. Riset dan pengujian penghematan daya menggunakan *throttle* dan menggunakan inverter *Variable Speed Drive* (VSD), maka perlu ditetapkan referensi dan standar mengenai bentuk kerja inverter VSD.

Analisis unjuk kerja motor induksi 3 fasa menggunakan inverter VSD 3 Fasa. Hal ini ditujukan untuk mengetahui kurva penghematan daya terhadap debit dengan menggunakan inverter VSD dalam kondisi debit dijaga fix dengan pengaturan *throttle* (katup). Kurva yang sudah diketahui dapat mengetahui efisiensi penghematan daya dengan menggunakan inverter dan menggunakan *throttle*. Pada penelitian ini digunakan metode perbandingan debit pada VSD dan *throttle*. Oleh sebab itu dalam makalah ini alat yang dibuat ditujukan sebagai alat uji efisiensi penghematan daya dengan menggunakan inverter VSD dan menggunakan *throttle*, Selanjutnya alat tersebut dapat dikembangkan lagi bukan hanya sebagai alat uji.

Pengasutan motor listrik dengan metode *start-delta* dapat mengurangi lonjakan arus

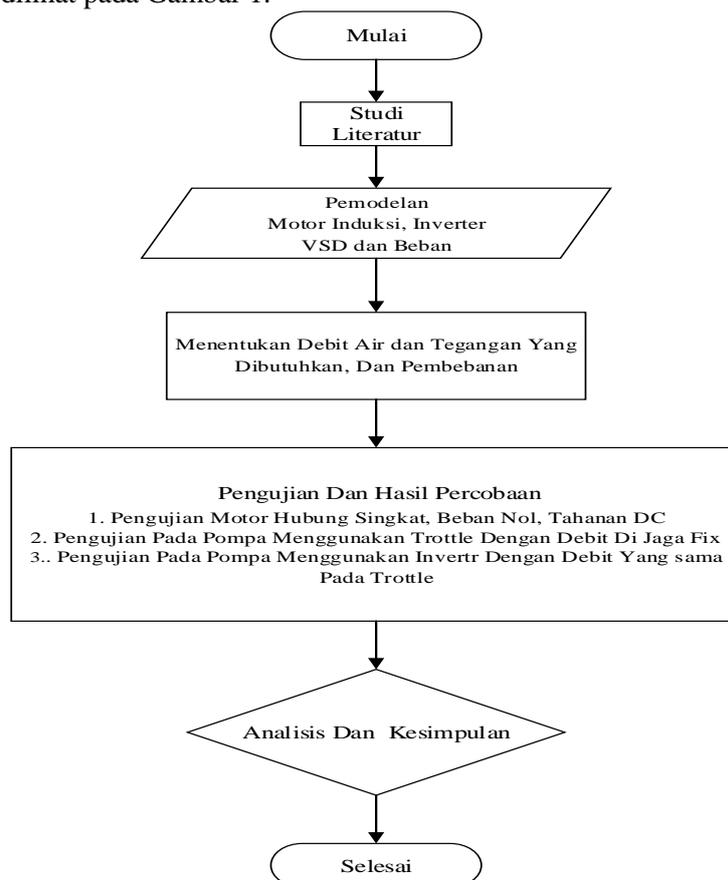
starting hingga 1/3 kalinya, namun dengan frekuensi *start-stop* yang tinggi dapat menyebabkan pemborosan energi. Dalam hal penghematan energi, VSD digunakan sebagai *softstarter* yang dapat mengurangi besarnya lonjakan arus *starting* dengan pengaturan *timing acceleration* dan kecepatan putar motor pada saat *starting*. Penggunaan *variable speed drive* dalam penelitian ini dapat mereduksi biaya sebesar 49,51% atau Rp. 2.246.109,36 dalam sebulan (**Ria Prasetyo**).

Analisis energi listrik merupakan upaya untuk mengoptimalkan kerja peralatan pada kondisi beban penuh sehingga penggunaan energi listrik menjadi lebih efektif, efisien dan rasional tanpa harus mengurangi kinerja produksi dan bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai tingkat konsumsi energi yang di gunakan per satuan output (produksi) serta mengidentifikasi peluang penghematan energi listrik.

Penelitian ini menggunakan VSD (*variable speed drive*) yang berguna sebagai pengatur kecepatan pada motor dan juga dengan melakukan pengukuran serta perhitungan intensitas kebutuhan energi (IKE) 115,21 kwh/ton, untuk dihasilkan penghematan biaya yang diinginkan serta indentifikasi peluang penghematan dilakukan setelah analisis perilaku dan kinerja beban. Hal yang didapat adalah penghematan energi listrik sebesar 28-60% pada motor listrik, total penghematan energi listrik adalah 4,95%, atau sama dengan 43.149,6 kwh/bulan, atau bila dirupiahkan sama dengan Rp 343.412.232 /tahun (**Iwan Abdul Malik**).

2. Metoda Penelitian

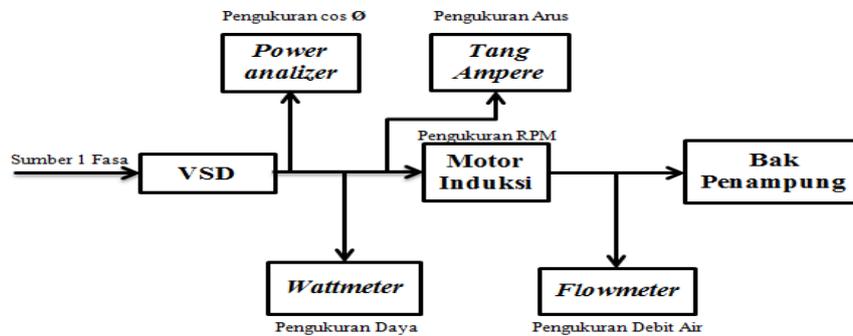
Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian. Langkah-langkah ini saling berkaitansatu dengan yang lain dan berurutan. Langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Kerja

2.1 Diagram Block Pengujian

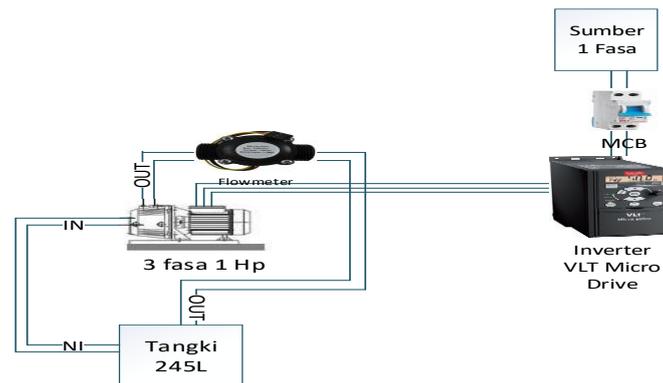
Diagram block pengujian merupakan urutan sistem yang dilakukan dalam pengujian. Sistem pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keluaran *variabel speed* yang diuji yaitu kecepatan motor, $\cos\theta$, debit air dan daya yang dibutuhkan.



Gambar 2. Diagram Blok Pengujian

2.2 Pemodelan Sistem

Pemodelan pada Gambar 3 merupakan bentuk dari proses melakukan pengujian pada motor induksi dan inverter. Pemodelan sistem ini bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter apa saja yang dibutuhkan dalam proses pengujian.



Gambar 3. Pemodelan Sistem pompa air

- A. Desain tangki yang akan digunakan pada penelitian adalah tangki dengan kapasitas 245 Liter yang terdiri dari:

$$P = 0,7 \text{ m} \quad L = 0,5 \text{ m} \quad T = 0,7 \text{ m}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa:

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \\ &= 0,245 \text{ m}^3 \\ &= 245 \text{ Liter} \end{aligned}$$

- B. Pada pengujian, digunakan debit maksimum yaitu 56 L/m dalam kurun waktu sekali percobaan selama 60 menit.

$$t = \frac{245}{56} = 4,375 \text{ menit}$$

Pengujian yang akan dilakukan dalam satu kali percobaan di debit maksimum 56 L/m adalah dalam kurun waktu 60 menit.

- C. Untuk mengatahui seberapa besar daya pada pompa, sebelumnya harus diketahui parameter-parameter yang terdapat pada motor pompa itu sendiri, seperti debit dan ketinggian head pompa. Dari sistem yang digunakan, didapat parameter-parameter:

$$\begin{array}{ll} Q &= 56 \text{ L/m} & L &= 3 \text{ m} \\ H_{\text{max}} &= 0,8 \text{ m} & e &= 5 \text{ buah} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 H_{L \text{ mayor}} &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \\
 &= \frac{64}{Re} \cdot \frac{3}{0,038} \cdot \frac{V^2}{2,9,81} \\
 &= \frac{64}{\frac{\rho \cdot (\frac{\pi}{4} D^2) \cdot D}{\mu}} \cdot \frac{3}{0,038} \cdot \frac{(\frac{\pi}{4} D^2)^2}{2,9,81} \\
 &= \frac{64}{\frac{1000 \cdot \frac{3,14^4}{4} + 0,038^2 \cdot 0,038}{0,001}} \cdot \frac{3}{0,038} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,038^2}{4 \cdot 2,9,81} \\
 &= 0,1277 \cdot 78,94 \cdot 0,031 \\
 &= 0,31 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{L \text{ minor}} &= \sum f \cdot \frac{Le}{D} + \frac{V^2}{2g} \\
 &= 5 \cdot [0,027 \cdot 0,1277 + 0,031] \\
 &= 0,17 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{L \text{ total}} &= H_{\text{max}} - (H_{L \text{ mayor}} + H_{L \text{ minor}}) \\
 &= 0,8 + (0,31 + 0,17) \\
 &= 1,28 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui nilai daya maksimum yang akan dihitung dilakukan dengan menentukan debit maksimum yaitu 56 L/m, agar kita dapat menentukan motor pompa tipe apa yang digunakan.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{pompa}} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \\
 &= 988 \cdot 9,81 \cdot 0,056 \cdot 1,28 \\
 &= 702 \text{ w}
 \end{aligned}$$

Pemilihan motor induksi 3 fasa 1 Hp karena kapasitas dayanya mendekati dari nilai perhitungan yang dilakukan dengan debit air maksimum.

2.3 Menentukan Debit Air dan Tegangan Yang Dibutuhkan, Dan Pembebanan Serta Gangguan.

Pada tahapan ini sebelum melakukan pengujian pada motor pompa menggunakan *throttle* dan menggunakan inverter, harus ditentukan seberapa besar debit air dan tegangan yang dibutuhkan, dan pembebanan yang akan diberikan pada percobaan *throttle* dan pada inverter pada motor pompa.

Pada pengujian yang dilakukan, sebelumnya harus memberikan parameter-parameter debit air dan tegangan yang di butuhkan, dan pembebanan yang akan diberikan.

Tabel 1. Parameter-Parameter Debit Dan Tegangan

Pengujian <i>Throttle</i> Dan Inverter	
	Q (L/m)
	56
	47
	36
	24
	10

Menentukan parameter-parameter ini bertujuan untuk membandingkan nilai efisiensi penghematan energy menggunakan *throttle* dan menggunakan inverter.

2.3 Percobaan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Inverter VSD 3 Fasa.

A. Motor Induksi 3 Fasa

Didapatkan persamaan untuk mengetahui kecepatan sinkron dari motor:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot 50}{4} = 1500 \text{ rpm} \quad (1)$$

$$\omega_s = n_s \cdot \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ min}}{60} \right) = 3000 \text{ rpm} \cdot 2\pi \cdot \left(\frac{1}{60} \right) = 314 \text{ rad / s} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaannya nilai slip pada saat mendekati kecepatan sinkron, sebagai berikut:

$$\text{Slip} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (3)$$

B. Pengujian Tanpa Beban (No Load Test)

Didapatkan persamaan untuk mengetahui impedansi beban nol, hambatan beban nol, dan slip pada beban nol:

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} (\Omega) \quad (4)$$

$$R_{nl} = \frac{V_{nl}^2}{P_{nl}} (\Omega) \quad (5)$$

$$\text{Slip} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (6)$$

C. Pengujian Hubung Singkat

Didapatkan persamaan untuk mengetahui impedansi beban hubung singkat dan, hambatan hubung singkat:

$$Z_{LR} = \frac{V_{LR}}{I_{LR}} \quad (7)$$

$$R_{LR} = \frac{V_{LR}^2}{P_{LR}} \quad (8)$$

D. Menghitung Daya Motor dan torsi

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_{motor} \cdot I_{motor} \cdot \cos \phi \quad \text{dan} \quad I = P / \sqrt{3} \cdot v \cdot I \cdot \cos \phi \quad (9)$$

$$T_{ind} = \frac{3 \cdot V_{TH}^2 \cdot \frac{R_2}{s}}{\omega_{sync} \left[\left(R_{TH} + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_{TH} + X_2)^2 \right]} \quad (10)$$

$$T_{start} = \frac{3 \cdot V_{TH}^2 \cdot R_2}{\omega_{sync} \cdot \left[(R_{TH} + R_2)^2 + (X_{TH} + X_2)^2 \right]} \quad (11)$$

$$T_{maks} = \frac{3 \cdot V_{TH}^2}{2 \omega_{sync} \left(R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2} \right)} \quad (12)$$

$$T = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad (13)$$

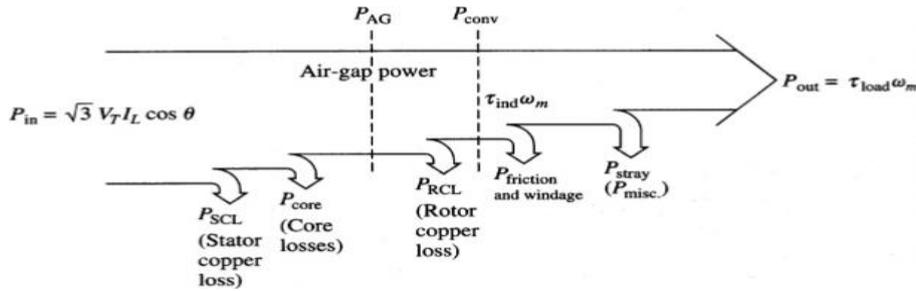
Pada perhitungan torsi dari pompa ini, Pout adalah daya keluaran pada pompa yang telah di hitung dengan mengurangi Pin motor dengan rugi-rugi yang terdapat pada motor.

Pada ω_s dapat diketahui dengan cara menghitung, dengan rumus:

$$\omega_s = n_s \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60} \right) = 3000 \text{ rpm} \cdot 2\pi \cdot \left(\frac{1}{60} \right) = 314 \text{ rad / s} \tag{14}$$

2.4 Menghitung Daya Output Motor Listrik 3 Fasa

Merupakan bentuk proses perhitungan untuk mengetahui nilai daya keluaran yang akan dihasilkan pada motor induksi dengan cara Pin pada motor induksi dikurangi nilai rugi-rugi disetiap komponen pada motor induksi, setelah Pin dikurangi nilai rugi-rugi pada motor induksi diketahuilah nilai Pout pada motor induksi.



Gambar 4. Diagram Daya Berbeban Di Motor Induksi

- $P_{SCL} = I^2 \cdot R_1$
- $P_{core} = E^2 \cdot G_c$
 $= E^2 / R_c$
- $P_{RCL} = S \cdot P_{AG}$

Keterangan:

- P_{SCL} = Rugi-rugi pada stator
- P_{core} = Rugi-rugi inti besi stator
- P_{RCL} = Rugi-rugi pada rotor
- $P_{F\&W}$ = Celah udara
- P_{stray} = Rugi-rugi yang tidak bisa di hitung

Jadi untuk menghitung berapa besaran daya keluaran pompa dapat dihitung dengan:

- $P_{in} = V_{pompa} \cdot I_{pompa} \cdot \cos \phi$ (15)

- $P_{AG} = P_{in} - P_{SCL}$ (16)

- $P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL}$ (17)

- $P_{rot} = P_{in} - P_{SCL}$ (18)

- $P_{out} = P_{conv} - P_{rot}$ (19)

P_{out} dapat dihitung dengan cara mengurangi P_{in} pada motor dengan rugi-rugi pada stator, motor, dan celah udara. Dimana P_{in} motor dan rugi-rugi pada motor sudah dapat dihitung.

2.5 Menghitung Efisiensi Daya Motor

Merupakan bentuk proses untuk mengetahui nilai efisiensi dari motor induksi dengan cara mencari nilai P_{out} motor yang dibagi dengan nilai P_{in} motor dan di kalikan dengan 100%, setelah itu kita dapat mengetahui efisiensi motor.

$$\eta_{motor} = P_{out \text{ motor}} / P_{in \text{ motor}} \times 100\% \tag{20}$$

2.6 Mengetahui Besar efisiensi Penghematan Daya

Untuk mengetahui besaran penghematan daya, dapat di cari dengan rumus:

$$\text{Penghematan} = \frac{P_{trottle} - P_{inverter}}{P_{trottle}} \times 100\% \tag{21}$$

3. Hasil Percobaan

3.1 Pengujian Motor Induksi 3 Fasa

Pengujian motor induksi 3 fasa merupakan bentuk proses untuk mencari rangkaian *ekivalen* motor induksi 3 fasa, dengan melakukan pengujian DC, percobaan beban nol, dan percobaan hubung singkat.

Tabel 2. Pengujian DC

V	I	R
		7 Ω

Tabel 3. Percobaan Beban Nol

V _{LL}	V _{RN}	V _{SN}	V _{TN}	V _{LN}	I(A)	P(watt)	Cos Ø	N(Rpm)
385	216	223	219	219	0,6	50	0,05	2996

Tabel 4. Percobaan Hubung Singkat

V _{LL}	V _{RN}	V _{SN}	V _{TN}	V _{LN}	I(A)	P(watt)	Cos Ø
62	40	40	40	40	1,4	60	0,5

3.2 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 1 Fasa

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari parameter-parameter rangkaian *ekivalen* motor induksi 3 fasa.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 13\Omega \\
 R_{nl} &= \frac{V_{nl}^2}{P_{nl}} = R_{nl} = \frac{219^2}{50/3} = 2878,8[\Omega] \\
 z_{nl} &= \frac{V_{nl}}{I_{nl}} = \frac{219}{0,6} = 365[\Omega] \\
 Z_{LR} &= \frac{V_{LR}}{I_{LR}} = \frac{40}{1,4} = 28,5V \\
 Z_{nl} &= 365 \Omega \\
 Z_{LR} &= R_{LR} + jX_{LR} = |Z_{LR}| \cos\theta + j|Z_{LR}| \sin\theta \\
 \theta &= \cos^{-1} x \frac{P_{in}}{3 V_T x I_L} = \cos^{-1} x \frac{75,1}{3 \cdot 40 \cdot 1,4} \\
 &= \cos^{-1} 0,44 \\
 &= 63,89^\circ
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 R_{LR} &= |Z_{LR}| \cos \theta = 28,5 \cos 63,89^\circ = 12,5 \Omega \\
 R_{LR} &= R_1 + R_2 \\
 R_2 &= R_{LR} - R_1 = 12,5 - 7 = 5,5 \Omega \\
 \text{Maka diperoleh} \\
 X_{LR} &= |Z_{LR}| \sin \theta \\
 &= 28,5 \sin 63,89^\circ = 25,6 \Omega
 \end{aligned}$$

Motor Induksi 3 Fasa

$$\begin{aligned}
 X_1 &= 0,4 X_{LR} = 0,4 \cdot (25,6) = 10,24 \Omega \\
 X_2 &= 0,6 X_{LR} = 0,6 \cdot (25,6) = 15,36 \Omega \\
 Z_{nl} &= X_1 + X_m \\
 365 &= 10,24 + X_m
 \end{aligned}$$

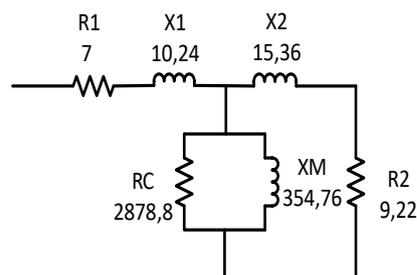
$$\begin{aligned}
 X_m &= 365 - 10,24 = 354,7 \Omega \\
 R_c &= 2878,8 \Omega
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, didapatkan data hasil pada Table 5:

Tabel 5. Parameter Rangkaian Ekivalen

Parameter	Nilai
R ₁	7Ω
R ₂	5,5Ω
X ₁	10,24Ω
X ₂	15,36Ω
X _m	354,76Ω
R _C	2878,8 Ω

Dengan mengetahui parameter-parameter pada motor induksi dapat digambarkan rangkaian pengganti perfasa motor induksi 3 fasa pada Gambar 5:



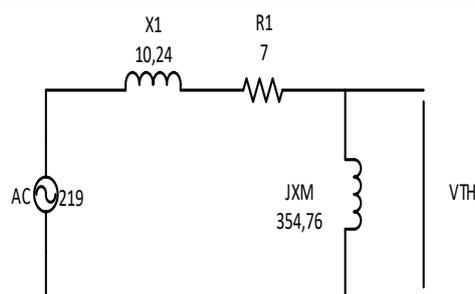
Gambar 5. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 3 Fasa

3.3 Pengujian Torka

Pengujian Torka menghasilkan nilai-nilai pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian torka

Throttle	Motor								
Q(L/m)	V _{LL}	V _{RN}	V _{SN}	V _{TN}	V _{LN}	I (A)	P(Watt)	Cos Ø	N (rpm)
56,3	385	219	219	219	219	1,7	720	0,64	2890
47	385	219	219	219	219	1,7	720	0,64	2885
36	385	219	219	219	219	1,7	711	0,64	2883
24	385	219	219	219	219	1,69	705	0,64	2882
10	385	218	218	219	218	1,66	700	0,64	2882



Gambar 6. Rangkaian Ekivalen Thevenin

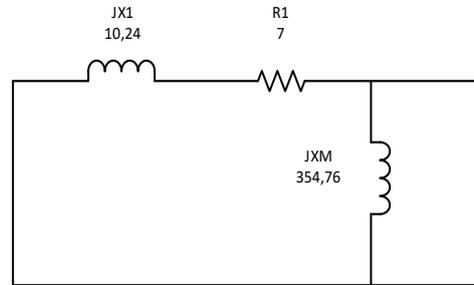
Untuk mencari tegangan *thevenin* pada rangkaian Gambar 6, digunakan Rumus:

$$V_{TH} = \frac{jX_m}{R_1 + jX_1 + jX_m} \cdot V_\phi = \frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + jX_1 + jX_m}} \cdot V_\phi \tag{22}$$

Rangkaian *thevenin* adalah salah satu teori elektronika atau alat analisis yang menyederhanakan suatu rangkaian rumit menjadi suatu rangkaian sederhana dengan cara

membuat suatu rangkaian pengganti yang berupa sumber tegangan yang dihubungkan secara seri dengan sebuah resistansi yang ekuivalen.

$$V_{TH} = \frac{354,76}{\sqrt{(7)^2 + (10,24 + 354,76)^2}} \cdot 219 = 212,7V$$



Gambar 7. Ekuivalen *Thevenin* untuk Z_{TH}

Untuk menghitung impedansi *thevenin* pada rangkaian gambar 7, digunakan Rumus:

$$\begin{aligned} Z_{TH} &= \frac{jX_m \cdot (R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \\ &= \frac{j354,76 \cdot (7 + j10,24)}{7 + j(10,24 + 354,76)} = \frac{-3632 + j2483}{7 + j365} = 6,6 + j10 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} Z_{TH} &= R_{TH} + jX_{TH} \\ Z_{TH} &= 6,6 + j10 \end{aligned}$$

Torka Induksi

Torka induksi merupakan nilai torka motor pada saat motor induksi tidak berbeban.

$$= \frac{3 \cdot (212,7)^2 \cdot 5,5}{314 \cdot [(6,6 + 5,5)^2 + (10 + 15,36)^2]} = 3,01N. \quad (24)$$

Torka Start

Torka *start* merupakan nilai torka motor induksi pada saat *starting* awal dimana saat pengujian motor induksi tidak berbeban.

$$= \frac{3 \cdot (212,7)^2}{2 \cdot (314) \left(6,6 + \sqrt{(6,6)^2 + (10 + 15,36)^2} \right)} = \frac{135723,8}{23881} = 5,68N.m \quad (25)$$

Torka Maksimum

Torka maksimum merupakan gaya puncak yang dibutuhkan motor induksi untuk menggerakkan motor induksi pada saat motor induksi tidak berbeban, didapatkan nilai torka maksimum dari motor induksi.

$$= \frac{3 \cdot (212,7)^2}{2 \cdot (314) \left(6,6 + \sqrt{(6,6)^2 + (10 + 15,36)^2} \right)} = \frac{135723,8}{23881} = 5,68N.m \quad (26)$$

3.4 Pengujian Motor Induksi Menggunakan *Throttle*

Pengujian motor induksi menggunakan *throttle* merupakan bentuk pengujian motor induksi 3 fasa tanpa menggunakan inverter, pada pengujian ini kita melakukan pengaturan debit dengan cara mengatur *Throttle* yang terdapat pada pipa.



Gambar 8. Pengujian Motor Dengan Throttle

Tabel 8. Pengujian Motor Induksi

Throttle	Motor									
	Q(L/m)	V _{LL}	V _{RN}	V _{SN}	V _{TN}	V _{LN}	I (A)	P(Watt)	Cos Ø	N (rpm)
56	385	219	219	219	219	219	1,7	720	0,64	2890
47	385	219	219	219	219	219	1,7	720	0,64	2885
36	385	219	219	219	219	219	1,7	711	0,64	2883
24	385	219	219	219	219	219	1,69	705	0,64	2882
10	385	218	218	219	218	218	1,66	700	0,64	2882

Torka Beban

Diberi pembebanan debit air 56 L/m

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \cdot 50}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

$$Slip_{\text{bebanan}} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% = \frac{3000 - 2890}{3000} \times 100\% = 0,036 = 3,6\%$$

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 385 \cdot 1,7 \cdot 0,64 = 725 \text{ W}$$

$$P_{SCL} = I_1^2 \cdot R_1 = 1,7^2 \cdot 7 = 60,7 \text{ w}$$

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} = 725 - 60,7 = 664,3 \text{ w}$$

$$P_{RCL} = S \cdot P_{AG} = 0,036 \cdot 664,3 = 23,9 \text{ w}$$

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL} = 664,3 - 23,9 = 640,4 \text{ w}$$

$$P_{rot} = P_{in} - P_{SCL} = 75 - 60,7 = 14,3 \text{ w}$$

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot} = 640,4 - 14,3 = 625,7 \text{ w}$$

$$\omega_s = \frac{2\pi}{60} \times 3000 = 314 \text{ rad/s}$$

$$\omega_m = (1 - s) \cdot \omega_{sync}$$

$$= (1 - 0,036) \cdot 314 = 302,7 \text{ rad/s}$$

$$T_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m} = \frac{625,4}{302,7} = 2,06 \text{ N.m}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{625,4}{725} \times 100\% = 86\%$$

Tabel 9. Hasil Percobaan Dalam 5 Kali Percobaan *Throttle*

Throttle		Motor Induksi									
Q (L/m)	Pin	P _{SCL}	P _{AG}	P _{RCL}	P _{conv}	P _{rot}	P _{out}	Slip	ω_m	T _{load}	η
56	725	60,7	664,3	23,9	640,4	14,3	625,7	3,6%	302,7	2,067	86%
47	725	60,7	664,3	25,23	639,07	14,3	625,4	3,8%	302	2,066	86,2%
36	725	60,7	664,3	25,9	638,4	14,3	624,1	3,9%	302,7	2,061	86%
24	721,25	60	665	25,93	639	15	624	3,9%	301,7	2,067	86,5%
10	708,45	57,86	650,59	25,37	652,22	17,14	608,08	3,9%	301,7	2,01	86,3%

3.5 Pengujian Motor Menggunakan Inverter

Tabel 10. hasil percobaan dengan inverter 5 kali percobaan

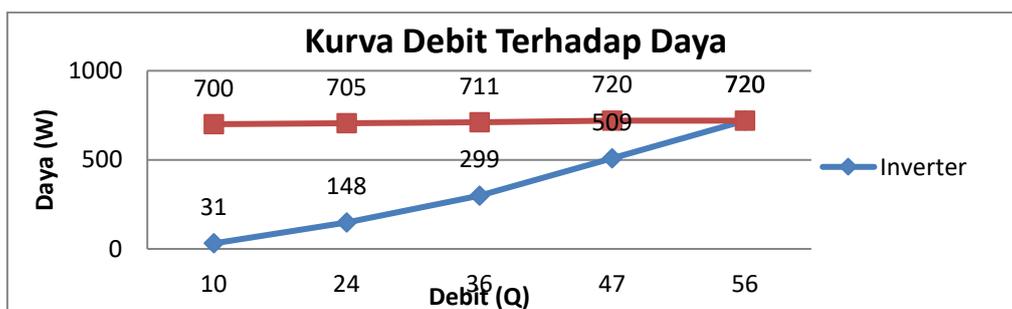
Inverter										
Q (Debit)	f (Hz)	V	I (A)	P (wat)	N (rpm)	n _s	η	Slip	Torka (N.m)	
10	11	84,7	0,36	31	621	660	90,6%	6,2%	0,49	
24	22,6	174	0,78	148	1297	1356	96,9%	3,9%	1,07	
36	32,4	249,5	1,10	299	1841	1944	96,7%	7,1%	1,51	
47	42	323,4	1,46	509	2346	2500	95,75%	5,8%	2,01	
56	50	385	1,73	720	2813	3000	96%	3,6%	2,38	

3.6 Penghematan Daya Pada Motor Pompa Menggunakan Inverter

Perbandingan dan rata-rata penghematan daya menggunakan Throttle dan Inverter dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan dan Rata-Rata Penghematan Daya Menggunakan *Throttle* dan Inverter

Inverter			Throttle		Penghematan (watt)
Q (Debit)	f	P(watt)	VLL	P(watt)	
10	11 Hz	31	385	700	669
24	22,6	148	385	705	557
36	32,4	299	385	711	412
47	42 Hz	509	385	720	211
56,4	50 Hz	720	385	720	0
Rata-Rata					369,8



Gambar 9. Karakteristik Kurva Penghematan Daya Terhadap Debit

$$\begin{aligned}
 \text{Penghematan Energi/thn} &= \text{Penghematan/bln.12 bln} \\
 &= 53,97 \text{ kWh/bln.12 bln} \\
 &= 665,64 \text{ kWh/thn}
 \end{aligned}$$

Pada hasil perhitungan nilai penghematan penggunaan daya di dalam setahun adalah 665,64 kWh/thn.

Tabel 13. Efisiensi Penghematan Daya

Inverter			Throttle		Efisiensi Penghematan
Q (Debit)	f	P(watt)	VLL	P(watt)	
10	11 Hz	31	385	700	95%
24	22,6 Hz	148	385	705	79%
36	32,4 Hz	299	385	711	57,94%
47	42 Hz	509	385	720	29,3%
56,4	50 Hz	720	385	720	-
Rata-Rata					52,362%

4. Kesimpulan

Peforma dari motor dipengaruhi oleh besaran beban yang diberikan kepada motor. Nilai dari perbedaannya memang tidak cukup signifikan dalam peralatan skala yang kecil tetapi akan sangat berpengaruh kepada peralatan-peralatan industri yang berskala cukup besar.

Dari selisih penggunaan daya pada saat menggunakan *throttle* dan inverter, didapat total penghematan daya dalam 5 jam operasi motor dalam sehari. Nilai penghematannya dalam hitungan hari adalah: 417,2W. Apabilan diasumsikan dalam setahun nilai penghematannya adalah: 750,96 kWh/thn.

Dapat disimpulkan bahwa hasil efisiensi penghematan total dari percobaan adalah: 73,7%, penggunaan inverter sangat efisien untuk penghematan energy, karena inverter dapat mengatur penggunaan daya.

Daftar Pustaka

- [1]. Prasetya, Ria, *Analisis Penghematan Energi Pada Pompa Fasum Menggunakan Variable Speed Drive*, UGM, 2013
- [2]. Chapman, Stephan J. *Electric Machinery Fundamental*, Singapura: McGraw Hill, 1985.
- [3]. Schneider Electric, “*Characteristic Variable Speed Drive*”. Training efisiensi energi.
- [4]. Sularso Haruo Tahara, *Pompa Dan Kompresor. Pemilihan, Pemakaian, Dan Pemeliharaan*. Jakarta: Pradnya Paramitha. 1994
- [5]. Robert W.FOX, Philip J. Pritchard, Alan T. McDonald. *Intruduction to Fluid Mechanics, 8th edition*. Oklahoma: John Wiley. 2011.
- [6]. Iwan Abdul Malik, *Analisis Penghematan Energi Motor Listrik di PT. Suprama Sidoarjo*, Itenas, 2013
- [7]. Waluyo, Alinda Novita Sari, Syahrial, *Penurunan Rating Tegangan Berpasangan Dari 380_{vac} Menjadi 120_{vac} Dengan Melilit Ulang Belitan Stator Pada Motor Induksi 3 Fasa*. Jurnal Reka Elkomika, 3(1), 2015, pp. 1-16.
- [8]. Bambang Prio Hartono dan Eko Nurcahyo, *Analisis Hemat Energi Pada Inverter Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa*, Jurnal Elekrika. 1(1), 2017, pp. 9-16.