

## EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3 $\phi$ SEBAGAI GENERATOR INDUKSI 3 $\phi$

Zainal Abidin<sup>1</sup>, Yulianta Siregar<sup>2</sup>, Nursalim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Bengkalis - Riau

Jl. Bathin Alam – Sei Alam Bengkalis- Riau Telp (0766)7008877. Fax (0766)7008878

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, UNDANA Kupang

E-mail: Inal\_bkls@yahoo.co.id, Julianta\_Srg@yahoo.co.id, Allink\_99@gmail.com

### Abstraks

*Motor induksi 3phase pada umumnya digunakan sebagai motor penggerak beban dalam bidang industri. Dalam kondisi tertentu, motor induksi 3phase dapat digunakan sebagai penghasil daya atau pembangkit daya listrik. Analisa efisiensi motor induksi 3phase sebagai generator induksi 3phase (MISGI) ditinjau dengan melihat karakteristik dari motor induksi sebelum dioperasikan sebagai generator induksi 3phase dan sesudah dioperasikan sebagai generator induksi 3phase. Analisa perhitungan efisiensi dilakukan dengan menggunakan program matlab. Efisiensi daya meningkat sebanyak 12 kali dari daya motor. Faktor daya dan daya output meningkat dengan meningkatnya kecepatan putar. Untuk dapat beroperasi sebagai generator, kecepatan putar rotor motor induksi 3phase harus diatas kecepatan sinkronnya.*

**Kata Kunci:** Motor Induksi, Generator Induksi

### 1. PENDAHULUAN

Pemakaian motor induksi 3 $\phi$  dalam kehidupan sehari-hari tidak terhindarkan, begitu juga dalam industri. Motor induksi identik dengan beban atau sebagai penggerak beban, misalnya sebagai penggerak belt konveyer untuk industri dan pompa air untuk kebutuhan sehari-hari ( rumah tangga). Untuk kondisi tertentu, kadang kala motor induksi digunakan sebagai generator induksi untuk memenuhi kebutuhan sumber daya. Jika ditinjau dari segi ekonomis, khusus untuk kebutuhan daya tertentu ( daya kecil), motor induksi dapat digunakan sebagai pembangkit mengganti peran generator induksi. Dalam penelitian ini dianalisa efisiensi motor induksi 3 $\phi$  sebagai generator induksi 3 $\phi$  (MISGI).

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan Motor Induksi Sebagai Generator Induksi (MISGI) telah banyak diterapkan secara luas dan diakui keandalannya. Meskipun ditinjau dari segi efisiensi, khususnya saat beban tidak penuh (*part load*), MISGI tidak sebaik generator Sinkron. MISGI hanya dipakai sebagai pembangkit alternatif dari generator sinkron 3 $\phi$  untuk pembangkit sementara. Dipakainya MISGI karena : 1). Motor induksi 3 $\phi$  banyak tersedia dipasaran, 2). Mempunyai range daya yang luas, 3). Konstruksi jauh lebih sederhana, 4). Lebih handal terhadap *run a way speed* dan 5). Mudah dalam perawatannya.

Untuk memahami prinsip kerja dari MISGI, ditinjau kembali prinsip kerja motor induksi. Apabila motor induksi 3 $\phi$  dihubungkan dengan tegangan 3 $\phi$ , di kumparan stator akan timbul medan magnet putar. Kecepatan medan magnet putar (kecepatan sinkron) tergantung dari frekuensi tegangan listrik yang dihubungkan dan jumlah kutub stator. Medan magnet putar pada kumparan stator akan memotong batang konduktor pada kumparan rotor, akibatnya pada kumparan rotor akan dibangkitkan tegangan induksi. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka tegangan induksi di rotor akan menghasilkan arus listrik. Interaksi antara medan magnet putar di stator, arus rotor akan menimbulkan kopel yang akan memutar rotor searah dengan medan magnet putar pada stator. Tegangan induksi pada rotor timbul karena terpotongnya batang konduktor pada rotor oleh medan magnet putar. Agar tegangan induksi selalu dibangkitkan di rotor, diperlukan perbedaan relatif antara kecepatan medan magnet putar dengan kecepatan rotor, disebut slip. Pada saat beroperasi sebagai motor, motor induksi akan mempunyai slip positif, artinya kecepatan medan magnet putar (kec. Sinkron) akan selalu lebih besar daripada kecepatan rotor. Proses yang sebaliknya akan terjadi apabila motor induksi digunakan sebagai generator. Kopel pada rotor digerakan oleh turbin, adanya magnetisasi sisa (*remnant magnetism*) pada rotor umumnya cukup untuk membangkitkan tegangan awal. Agar kumparan stator dapat dibangkitkan tegangan listrik, diperlukan adanya daya reaktif untuk membangkitkan medan magnet putar.

Untuk kasus MISGI beroperasi sendiri (*Isolated Grid*) daya reaktif disuplai lewat kapasitor eksitasi dan untuk kasus MISGI dikoneksikan dengan jaringan listrik lain (*Grid Connected*) daya reaktif disuplai lewat jaringan. Kapasitor pada umumnya hanya dipakai sebagai kompensator. Nilai slip motor selalu positif, sedangkan slip saat motor sebagai generator selalu negatif, artinya kecepatan rotor harus selalu lebih besar dari kecepatan

medan magnet putarnya. Tidak semua motor induksi cocok digunakan sebagai MISGI. Jenis motor yang cocok digunakan untuk MISGI, adalah jenis sangkar tupai (Squirrel Cage Motor). [1 - 5].

### 3. METODA PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode analisa secara analitik dan deskriptik serta disimulasikan dengan menggunakan Matlab. Data meliputi : Name plate motor induksi dan pengujian/pengukuran motor induksi. Lokasi penelitian di Laboratorium Mesin Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Bengkalis – Riau.

Data penelitian terdiri :

#### 1. Name plate motor

Type motor	: Three phase induction
Type rotor	: Squirrel cage
Merek/seri	: Delorenzo – Italy/DL 1026A
Tegangan	: Star/delta 220/380 V
Arus	: Star/delta 22.9/1.7 A
Cos $\theta$	: 1
Kecepatan	: 3000 rpm
Frekuensi	: 50 Hz
Daya	: Star/delta 1.1 kW
Kelas	: A

#### 2. Hasil pengukuran/pengujian, tujuan untuk mendapatkan parameter dari motor induksi 3 $\phi$

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Resistansi kumparan stator ( $R_s$ )

Resistansi stator diperoleh berdasarkan pengujian/pengukuran tes tegangan DC.

Parameter pengukuran :

Tegangan DC 45 V dengan tahanan variabel ( $R_v$ ),

Belitan stator terhubung star ( Y )

Hasil pengukuran : Termuat dalam tabel. 1.

Tabel. 1. Test tegangan DC motor induksi 3 $\phi$

Belitan	Idc	Vdc
A – N ( $R_1$ )	0.95	25.89
B – N ( $R_2$ )	0.95	25.87
C – N ( $R_3$ )	0.95	25.88

$R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  berturut – turut didapat : 27.25  $\Omega$ , 27.23  $\Omega$ , 27.24  $\Omega$

Nilai rata – rata dari  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  merupakan resistansi kumparan stator ( $R_s$ ) :

$$R_s = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} = 27.24 \Omega \quad (1)$$

#### 4.2. Reaktansi dan resistansi rotor

Pengujian rotor terkunci ( *locked rotor* ) akan mendapatkan :

- Induktansi bocor sisi stator.
- Induktansi bocor sisi rotor.
- Resistansi rotor.

Parameter pengujian :

Tegangan sumber (  $V_{S(tr)}$  ) : 220 V ( 380 Va )

Frekuensi ( f ) : 50 Hz

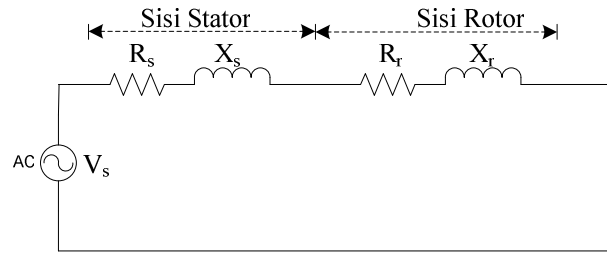
Hasil Pengujian :

Daya aktif (  $P_{(tr)}$  ) : 598.46 W/phase

Daya reaktif (  $Q_{(tr)}$  ) : 486.88 Var/phase

Putaran motor (  $n_{mtr}$  ) : 0 rpm

Slip = 0 motor berhenti/diam, karena putaran motor 0 rpm akibat dari tes rotor terkunci/pengereman. Jika *impedansi magnetasi* (  $Z_m = R_m/jX_m$  ) diabaikan, dapat digambarkan rangkaian ekuivalen dari motor induksi tes rotor terkunci/pengereman, seperti ditunjukkan gambar 1.



Gambar. 1. Rangkaian ekivalen tes rotor terkunci/pengeraman

Dari rangkaian ekivalen tes rotor terkunci/pengeraman, dapat ditentukan nilai dari : Reaktansi stator ( $X_s$ ), reaktansi rotor ( $X_r$ ) dan resistansi rotor ( $R_r$ ) dengan cara menentukan :

Impedansi  $Z_{lr}$  yang dibentuk dari  $X_r$ ,  $R_r$  dan  $X_s$ ,  $R_s$

$$|Z_{lr}| = \sqrt{(R_r + R_s)^2 + (X_r + X_s)^2} \quad (2)$$

Daya kompleks yang diserap oleh  $|Z_{lr}|$

$$\frac{V_s^2(lr)}{|Z_{lr}|} = \sqrt{P_{lr}^2 + Q_{lr}^2} \quad (3)$$

Dari persamaan (2) dan (3), didapat :

$$|Z_{lr}| = \frac{V_s^2(lr)}{\sqrt{P_{lr}^2 + Q_{lr}^2}} \quad (4)$$

$$|Z_{lr}| = 62.74 \Omega$$

Hasil perhitungan selanjutnya termuat dalam tabel. 2

Tabel 2. Hasil perhitungan reaktansi dan resistansi rotor

Sudut $ Z_{lr} $	$R_s$ , $R_r$ dan $X_s + X_r$	Motor type klas A, maka : $X_s = X_r$
$\theta_{lr} = \tan^{-1} \frac{Q_{lr}}{P_{lr}}$	$R_s + R_r =  Z_{lr}  \cos \theta_{lr}$	$X_s = 0.5 (X_s + X_r)$
$\theta_{lr} = 33.5^\circ$	$R_s + R_r = 52.32 \Omega$	$X_s = 18.215 \Omega$
	$R_r = (R_s + R_r) - R_s$	$X_r = 0.5 (X_s + X_r)$
	$R_r = 25.08 \Omega$	$X_r = 18.21 \Omega$
	$X_s + X_r =  Z_{lr}  \sin \theta_{lr}$	
	$X_s + X_r = 36.43 \Omega$	

#### 4.3. Reaktansi dan induktansi magnetasi

$S = 0$ , impedansi rotor ( $Z_r$ ) tak terhingga. dapat digambarkan rangkaian ekivalen dari motor induksi tes beban nol ( tanpa beban), seperti ditunjukkan gambar 2.

Parameter pengujian :

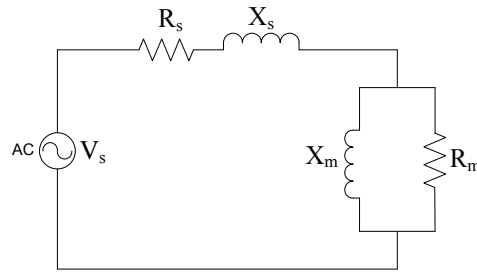
Tegangan sumber ( $V_{s(bn)}$ ) : 220 V ( 380 Va )

Frekuensi ( f ) : 50 Hz

Hasil Pengujian :

Daya aktif (  $P_{(bn)}$  ) : 41.98 W/phasas

Daya reaktif (  $Q_{(bn)}$  ) : 102.32 Var/phasas



Gambar 2. Rangkaian ekivalen motor induksi tes beban nol

Dari gambar 2 diatas, impedansi  $Z_m$  dibentuk oleh reaktansi magnetasi ( $X_m$ ) dan resistansi magnetasi ( $R_m$ )

$$Z_m = X_m // R_m$$

$$Z_m = \frac{jR_m X_m}{R_m + jX_m}$$

$$Z_m = \frac{R_m X_m^2}{R_m^2 + X_m^2} + j \frac{R_m X_m^2}{R_m^2 + X_m^2} \quad (5)$$

Impedansi beban nol ( $Z_{bn}$ ) dibentuk dari  $R_s$ ,  $X_s$  dan  $Z_m$

$$Z_{bn} = \left( R_s + \frac{R_m X_m^2}{R_m^2 + X_m^2} \right) + j \left( X_s + \frac{X_m R_m^2}{R_m^2 + X_m^2} \right) \quad (6)$$

Daya kompleks diserap oleh  $|Z_{bn}|$ :

$$\frac{V_s^2}{|Z_{bn}|} = (P_{bn}^2 + Q_{bn}^2)^{1/2} \quad (7)$$

Dari persamaan diatas, didapat  $|Z_{bn}|$

$$|Z_{bn}| = \frac{V_s^2}{\sqrt{(P_{bn})^2 + (Q_{bn})^2}} \quad (8)$$

$$|Z_{bn}| = 437.62\Omega$$

Hasil perhitungan selanjutnya termuat dalam tabel. 3

Tabel 3. Hasil perhitungan reaktansi dan resistansi magnetasi

Sudut $ Z_{bn} $	Resistansi magnetasi	Reaktansi magnetasi
$\theta_{bn} = \tan^{-1} \frac{Q_{(bn)}}{P_{(bn)}}$	$R_s + \frac{R_m X_m^2}{R_m^2 + X_m^2} =  Z_{(bn)}  \cos \theta_{bn}$	$X_s + \frac{X_m R_m^2}{X_m^2 + R_m^2} =  Z_{(bn)}  \sin \theta_{bn}$
$\theta_{bn} = 67.69^\circ$	$\frac{R_m X_m^2}{R_m^2 + X_m^2} =  Z_{(bn)}  \cos \theta_{bn} - R_s$	$\frac{X_m R_m^2}{X_m^2 + R_m^2} =  Z_{(bn)}  \sin \theta_{bn} - X_s$
	$\frac{R_m X_m^2}{R_m^2 + X_m^2} = 138.89\Omega$	$\frac{X_m R_m^2}{X_m^2 + R_m^2} = 377.62\Omega$

#### 4.4. Koefisien gesekan

Dari tes putaran beban bebas, didapat data

Parameter pengujian :

Tegangan sumber ( $V_{s(bn)}$ ) : 220 V ( 380 Va )

Frekuensi ( f ) : 50 Hz

Hasil Pengujian :

Tegangan jangkar (  $V_a$  ) : 159 V

Tahanan jangkar (  $R_a$  ) : 15  $\Omega$

Arus jangkar (  $I_a$  ) : 0.92 A

$P_{rot(dc)}$  : 105 W

Daya keluaran prime mover :

$$P_{pm} = V_a I_a - I_a^2 R_a - P_{rot}$$

$$P_{pm} = 28.584 W$$

Daya keluaran prime moder digunakan untuk mengatasi rugi-rugi mekanis :

$$P_{pm} = P_{mek}$$

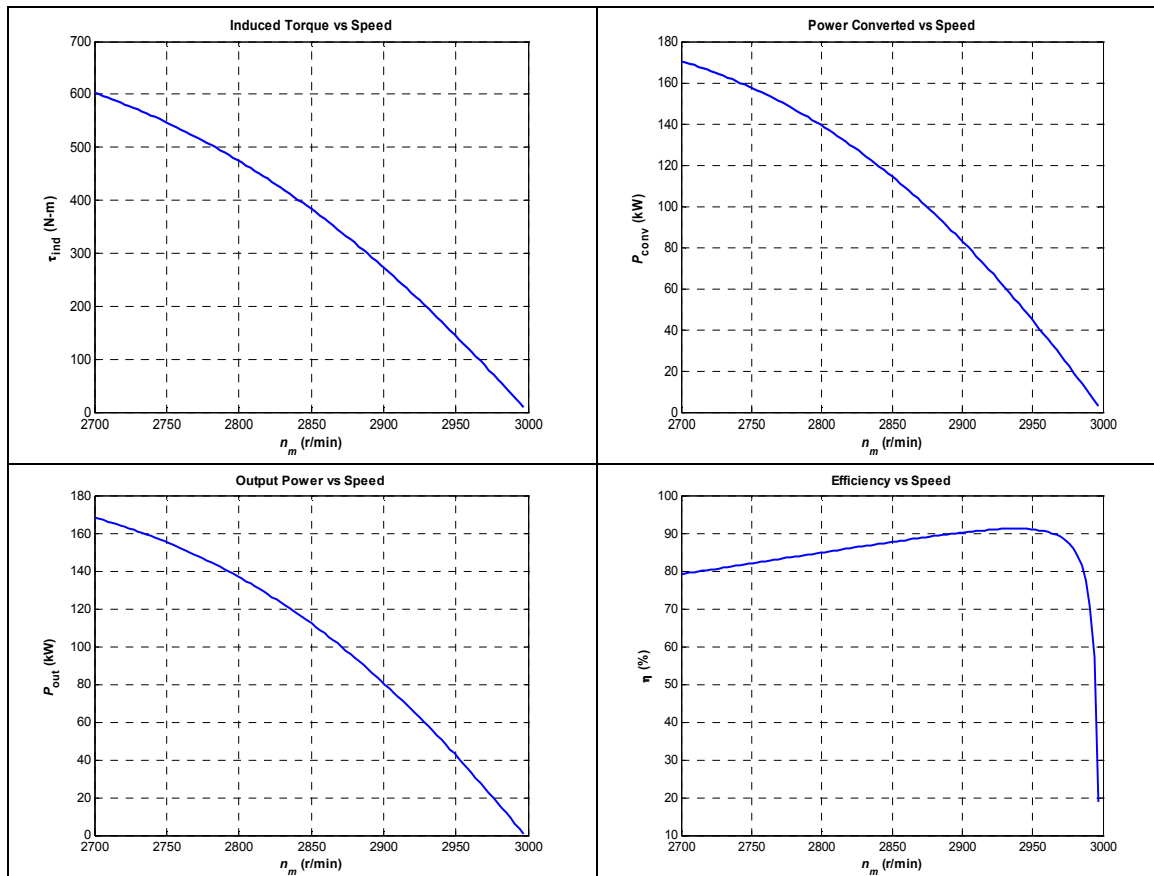
Koefisien gesekan :

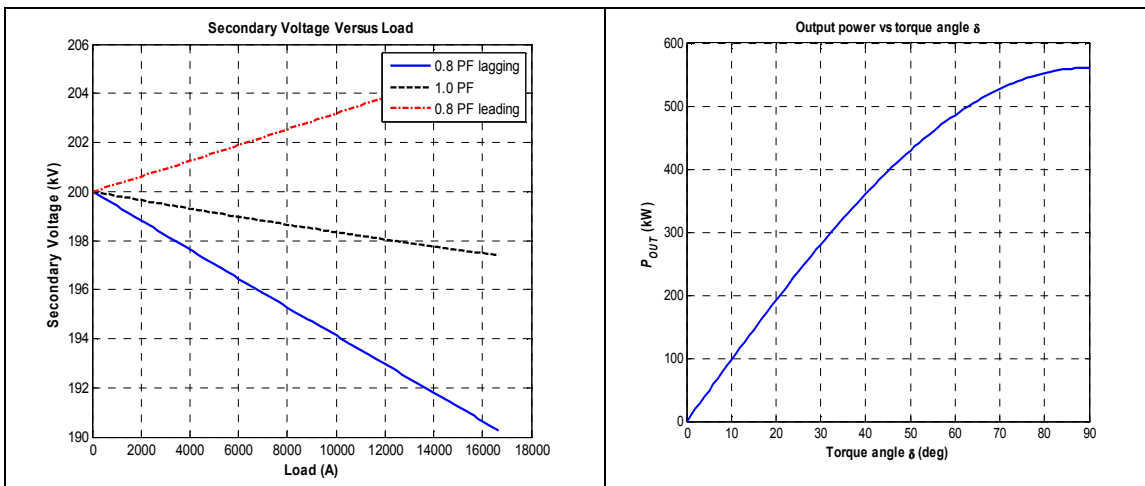
$$B_{mek} = \frac{P_{mek}}{\omega_{mek}^2}$$

$$B_{mek} = 1.16 \times 10^{-3} N.m.s.rad^{-1}$$

#### 4.5. Efisiensi motor induksi sebagai generator induksi

Efisiensi motor induksi 3 $\phi$  sebagai generator induksi 3 $\phi$  dapat diamati dari kurva motor induksi 3 $\phi$  bekerja sebagai generator induksi 3 $\phi$ .





## 5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa kurva karakteristik motor induksi sebagai generator dapat diambil kesimpulan :

1. Daya output generator dapat meningkat dengan meningkatkan kecepatan putarnya dan arus excitation.
2. Faktor daya meningkat dengan meningkatnya kecepatan
3. Meningkatkan daya motor induksi sebagai generator berkisar 12 kali lipat dari daya motor induksi

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Eichenberger, P. Chapallaz, J.M. Ghali, J.D. and Fishcher, G. 1992. Manual On Induction Motor Used As Generators. Germany: Gate-GTZ-Vieweg.
- [2]. Chapman, S.J. 1985. Electric Machinery Fundamentals. New York : McGraw\_Hill Book Compony.
- [3]. Theodore Wildi. 1991. Electrical Machines, Dreves and Power Syatem. USA : Prentice-Hall International, Inc.
- [4]. Ion Boldea.. 2006 . Synchronous Generators. Polytechnical Institute Timisoara, Romania
- [5]. Soebagio. 2008. Teori umum mesin elektrik. Srikandi