

## **PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI DALAM SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3-FASA TERHADAP EFISIENSI DAN ARUS KUMPARAN MOTOR**

Oleh :

**Zuriman Anthony, ST., MT\***  
\*) Dosen Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Padang (ITP)

---

### **ABSTRAK**

*Salah satu cara dalam mengendalikan kecepatan motor induksi 3-fasa adalah dengan mengatur frekuensi sumber yang masuk ke motor. Bila frekuensi sumber yang diberikan ke motor semakin besar, maka motor akan berputar semakin cepat. Tetapi bila frekuensi sumber yang diberikan ke motor semakin rendah, maka motor akan berputar semakin lambat. Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh pengaturan frekuensi ini terhadap efisiensi dan arus yang melewati kumparan motor agar dapat diketahui batas-batas frekuensi yang masih dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor.*

*Abstrac*

*Motor yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi 3-fasa 2250 Hp, 2300 V, 60Hz, hubungan bintang. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan efisiensi motor saat terjadi kenaikan maupun penurunan frekuensi sumber. Terjadi juga penurunan arus kumparan motor saat terjadi kenaikan frekuensi sumber dan terjadi kenaikan arus kumparan motor saat terjadi penurunan frekuensi sumber. Frekuensi terendah yang memungkinkan motor dapat bekerja dengan baik tidak boleh lebih rendah dari 43,33% dari frekuensi standar motor, karena frekuensi yang lebih rendah dari ini akan dapat memperpendek umur motor.*

**Kata kunci :** *perubahan frekuensi, perubahan impedansi, perubahan arus*

### **ABSTRACT**

*A method can be used to control the rpm of the induction motor is by controlling the frequency into the motor. Increasing and decreasing the frequency can increase or decrease the rpm of the motor. This research is purposed to analyze the effect of variable frequency into the motor especially to efficiency and current of the motor.*

*The motor that used in this research is 3-phase induction motor of 2250 Hp, 2300 V, 60 Hz by Y connection. The results of this research showed that the increasing or decreasing of the frequency always showed the decreasing characteristic efficiency of the motor. But increasing the frequency showed the decreasing of the current of the motor and decreasing the frequency showed the high increasing of the current of the motor. The minimum frequency can be given to control the rpm of the motor has to be higher than 43.33% of the rate frequency of the motor if we want to control the rpm of the motor in save operation.*

**Keywords:** *variable frequency, variable impedance, variable current*

---

### **1. Pendahuluan**

Motor induksi 3-fasa banyak digunakan di dalam berbagai aplikasi di masyarakat, baik untuk keperluan umum maupun untuk keperluan pribadi. Dalam aplikasi tertentu sangat diperlukan pengaturan kecepatan motor. Salah satu pengaturan kecepatan motor induksi ini dapat dilakukan dengan cara mengatur frekuensi yang masuk ke motor. Dengan kemajua

teknologi, maka cara ini sudah sangat mudah dilakukan.

#### **1.1. Rumusan masalah**

Pengaturan frekuensi yang masuk ke motor induksi disamping akan mempengaruhi kecepatan motor, juga akan mempengaruhi arus yang melewati kumparan motor, karena perubahan frekuensi ini berbanding lurus dengan perubahan reaktansi induktif pada kumparan

*Pengaruh perubahan frekuensi dalam system pengendalian kecepatan motor Induksi 3-fasa terhadap efisiensi dan arus kumparan motor*

motor. Perubahan arus pada motor ini juga akan berakibat terjadinya perubahan efisiensi pada motor, karena arus ini berbanding lurus dengan daya dan rugi-rugi daya pada motor. Oleh karena itu perlu diketahui batasan frekuensi yang memungkinkan untuk mengatur kecepatan motor agar motor masih dapat beroperasi dengan baik dengan efisiensi yang tidak terlalu rendah dan dengan arus yang tidak membahayakan motor. Untuk itu, maka diperlukan kajian lebih jauh tentang pengaruh pengaturan frekuensi sumber motor induksi 3-fasa untuk mengatur kecepatan motor terhadap arus dan efisiensi motor.

**1.2. Batasan masalah**

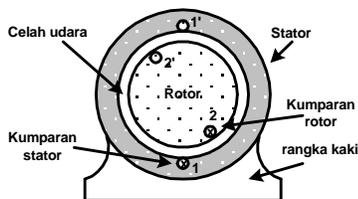
Penelitian ini hanya melihat dan menganalisa pengaruh perubahan frekuensi sumber untuk mengatur kecepatan motor induksi 3-fasa terhadap efisiensi dan arus yang melewati kumparan motor. Untuk mempermudah analisa maka digunakan program MATLAB dengan memasukan parameter-parameter motor induksi 3-fasa ke dalam rangkaian ekivalen motor.

**1.3. Tujuan penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan batasan pengaturan frekuensi sumber dalam mengatur kecepatan motor induksi 3-fasa agar motor masih dapat bekerja dengan baik yang tidak membahayakan motor

**2. Landasan Teori**

Motor induksi 3-fasa merupakan motor induksi yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan terutama di pabrik-pabrik yang menggunakan motor sebagai penggerak. Diantara semua jenis motor induksi, motor induksi 3-fasa merupakan motor yang paling stabil dalam kondisi normal bila disuplai dengan sistem 3-fasa yang seimbang. Gambaran sederhana konstruksi motor induksi 3-fasa ini diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konstruksi sederhana motor induksi

Kecepatan putaran medan magnet motor induksi akan dipengaruhi oleh frekuensi sumber yang masuk ke motor dengan mengacu ke persamaan (2.1) berikut.

$$N_s = 120. f / p \tag{2.1}$$

yang mana :

- f = frekuensi sumber AC (Hz)
- p = jumlah kutub yang terbentuk pada motor
- N<sub>s</sub> = kecepatan putaran medan magnet stator (putaran/menit, rpm)

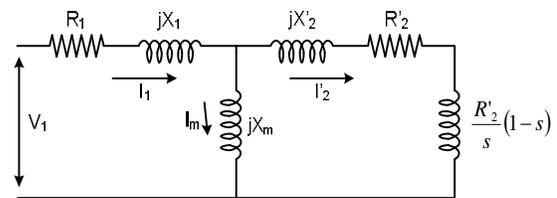
Putaran medan magnet stator ini akan diikuti oleh putaran rotor motor induksi. Makin berat beban motor, maka kecepatan rotor juga akan turun sehingga terjadi slip (s), seperti yang diperlihatkan pada persamaan (2.2).

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \tag{2.2}$$

yang mana :

- s = slip
- N<sub>r</sub> = kecepatan putaran rotor pada motor

Perubahan frekuensi sumber pada motor induksi 3-fasa akan mempengaruhi besarnya impedansi kumparan motor karena kumparan motor induksi mengandung reaktansi induktif (X<sub>1</sub>) seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen motor induksi 3-fasa perfasa

yang mana:

- V<sub>1</sub> = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator
- R<sub>1</sub> = Resistansi kumparan stator
- X<sub>1</sub> = Reaktansi Induktif kumparan stator
- R'<sub>2</sub> = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator
- X'<sub>2</sub> = Reaktansi Induktif rotor dilihat dari sisi stator
- X<sub>m</sub> = Reaktansi magnet pada Motor
- $\frac{R'_2}{s}(1-s)$  = Resistansi yang mewakili beban motor

*Pengaruh perubahan frekuensi dalam system pengendalian kecepatan motor Induksi 3-fasa terhadap efisiensi dan arus kumparan motor*

$I_1$  = Arus kumparan stator

$I_2'$  = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator

$I_m$  = Arus Magnet

Dari rangkaian ekuivalen motor gambar 2.2 di atas kemudian dapat dihitung arus dan efisiensi motor dengan cara sebagai berikut.

$$Z'_2 = \frac{R'_2}{s} + jX'_2 \quad (2.3)$$

$$Zp_2 = \frac{Z'_2 \cdot jXm}{Z'_2 + jXm} \quad (2.4)$$

$$Zt = Z_1 + Zp_2 \quad (2.5)$$

$$i_L = \frac{V_1}{Zt} = I \angle \varphi \quad (2.6)$$

$$V_{AB} = V_1 - i_1 \cdot X_1 \cdot Z_1 \quad (2.7)$$

$$(i_2') = \frac{V_{AB}}{Z_2'} \quad (2.8)$$

$$Pm_{(3\text{fasa})} = 3 \cdot (i_2')^2 \cdot \frac{R_2'}{s} (1 - s) \quad (2.9)$$

$$P_{OUT} = Pm - Prot \quad (2.10)$$

$$P_{in(3\text{fasa})} = \sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (2.11)$$

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \cdot 100\% \quad (2.12)$$

Motor induksi akan bekerja dengan baik dan dapat berumur panjang jika arus yang melewati kumparan tidak melewati batas yang telah ditetapkan pabrik pembuatnya (arus nominal motor). Bila arus yang melewati kumparan motor ini telah melampaui arus nominal motor, maka motor akan berumur pendek, dimana makin besar arus motor, maka makin pendek umur motor. Pemanfaatan energi pada motor juga akan lebih optimal jika efisiensi motor saat beroperasi sangat tinggi.

**3. Metode Penelitian**

Motor induksi yang menjadi objek penelitian adalah motor induksi 3-fasa 2250 Hp, 2300 V, terhubung bintang, 60Hz yang mempunyai data parameter sebagai berikut <sup>[4]</sup>.

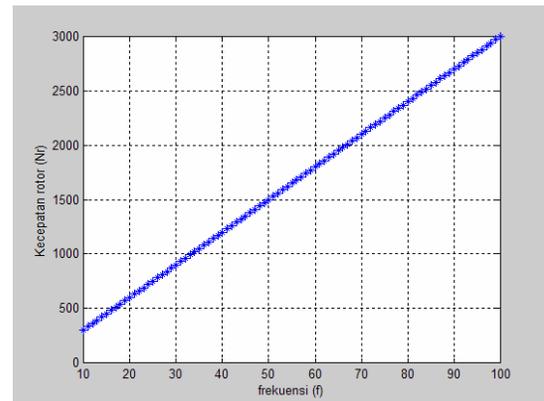
- P = 4 kutub       $R_1 = 0,029$
- F = 60 Hz       $X_1 = 0,226$
- $V_L = 2300$  V       $X_m = 13,04$
- $Nr = 1786$  rpm       $R_2' = 0,022$
- $P_{out} = 2250$  Hp       $X_2' = 0,226$

Untuk menganalisa kondisi motor saat diberikan perubahan frekuensi sumber untuk

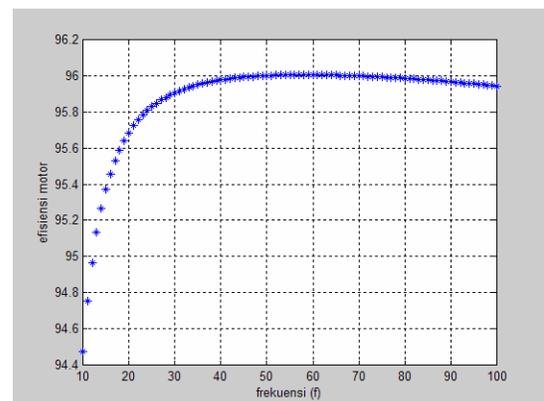
mengatur kecepatan motor, maka digunakan program MATLAB agar dapat menghasilkan perhitungan dan grafik yang lebih akurat dan cepat.

**4. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan bervariasi frekuensi sumber yang masuk ke motor induksi 3-fasa dengan kondisi tegangan sumber konstan, maka diperoleh hasil kinerja motor seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4. Khusus untuk gambar 4.3 dan 4.4, maka besarnya arus yang terjadi telah dibagi dengan arus nominal motor agar mudah melihat berapa persen kenaikan dan penurunan arus pada kumparan motor seiring dengan terjadinya perubahan frekuensi sumber.

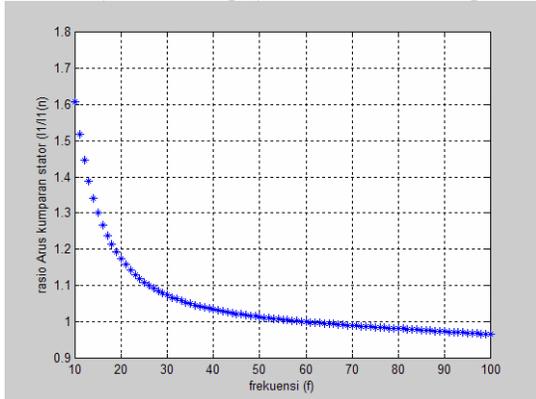


Gambar 4.1 Pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor induksi

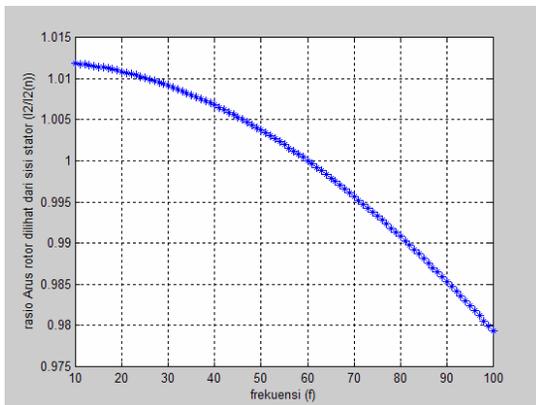


Gambar 4.2 Pengaruh perubahan frekuensi terhadap efisiensi motor induksi

*Pengaruh perubahan frekuensi dalam system pengendalian kecepatan motor Induksi 3-fasa terhadap efisiensi dan arus kumparan motor*



Gambar 4.3 Pengaruh perubahan frekuensi terhadap arus kumparan stator motor induksi



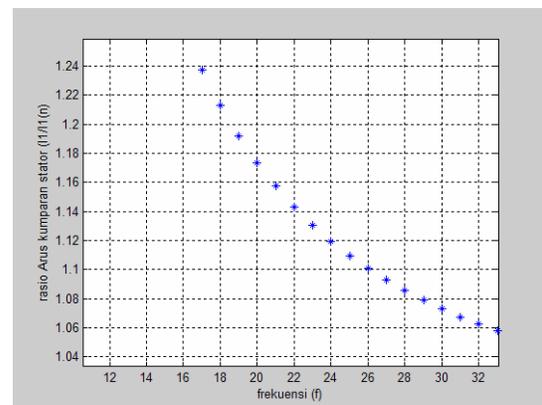
Gambar 4.4 Pengaruh perubahan frekuensi terhadap kumparan rotor motor induksi

Dari hasil yang telah diperlihatkan pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4 di atas terlihat bahwa dengan dilakukannya perubahan frekuensi sumber untuk mengatur kecepatan motor induksi 3-fasa, maka motor akan bergerak semakin cepat seiring dengan kenaikan frekuensi, Begitu pula sebaliknya bila frekuensi diturunkan maka kecepatan motor induksi juga akan turun.

Seiring dengan kenaikan frekuensi sumber pada motor, terlihat bahwa terjadi penurunan efisiensi dan arus pada kumparan motor baik pada sisi stator maupun pada sisi rotor. Penurunan efisiensi motor ini tidak begitu besar sehingga tidak begitu merugikan pemakaian energi pada motor dibandingkan dengan tujuan untuk memperbesar kecepatan motor. Begitu juga terhadap arus yang terjadi pada kumparan motor, terlihat bahwa arus yang terjadi semakin kecil seiring dengan peningkatan frekuensi

sumber. Hal ini tentu akan menguntungkan karena akan memperkecil rugi-rugi daya pada motor.

Jika diperhatikan pengaruh penurunan frekuensi sumber terhadap kinerja motor juga terlihat bahwa penurunan frekuensi sumber ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan efisiensi yang tajam pada motor yang disertai kenaikan arus pada kumparan motor, baik arus pada sisi stator maupun arus pada sisi rotor. Jika diperhatikan gambar 4.4 terlihat bahwa kenaikan arus rotor tidak begitu jauh dan masih di bawah 1,5% walaupun frekuensi yang diberikan sampai pada angka 10 Hz. Tetapi jika diperhatikan arus yang terjadi pada kumparan stator (pada gambar 4.3) ternyata terjadi peningkatan arus yang begitu tajam yang dapat merusak kumparan stator. Bila gambar 4.3 diperbesar pada daerah arus yang naik saja, maka kondisi ini diperlihatkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengaruh perubahan frekuensi dari gambar 4.3 yang telah diperbesar pada frekuensi antara 17 Hz dan 33 Hz.

Dengan memperhatikan gambar 4.5 terlihat bahwa terjadi kenaikan arus yang tajam pada frekuensi yang rendah. Ini terjadi karena seiring dengan penurunan frekuensi maka terjadi juga penurunan impedansi pada kumparan motor karena adanya reaktansi induktif ( $X_L$ ) pada kumparan motor. Bila diberikan batasan kelebihan arus yang melewati kumparan motor sekitar 10% di atas beban nominal motor (agar motor tidak berumur pendek), maka sebaiknya motor hanya boleh dioperasikan pada frekuensi paling rendah 26 Hz (perhatikan gambar 4.5), karena pada kondisi ini arus kumparan motor telah mencapai 110% dari arus nominal motor. Jika mengacu ke frekuensi standar motor yang

digunakan dalam penelitian ini sebesar 60 Hz, maka frekuensi terendah yang dapat diberikan ke motor adalah pada batas  $(26/60) \times 100\% = 43,33\%$  dari frekuensi standarnya. Ini menunjukkan bahwa agar motor induksi 3-fasa dapat dioperasikan dengan baik dengan berbagai kecepatan dengan cara mengatur frekuensi sumber yang diberikan ke motor, maka frekuensi terendah yang boleh diberikan adalah pada batasan 43,33% dari frekuensi standar motor induksi yang digunakan.

### **5. Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Memperbesar frekuensi sumber dalam menaikkan kecepatan motor induksi 3-fasa akan memperkecil arus kumparan motor dan efisiensi motor.
2. Memperkecil frekuensi sumber dalam menurunkan kecepatan motor induksi 3-fasa juga akan akan memperkecil efisiensi motor, tetapi akan memperbesar arus kumparan motor.
3. Frekuensi terendah yang dapat diberikan ke motor induksi 3-fasa dalam mengatur kecepatan motor adalah sebesar 43,33% dari frekuensi standar yang telah ditetapkan pada motor. Jangan memberikan frekuensi yang lebih rendah dari ini karena akan dapat memperpendek umur motor.

### **Daftar Pustaka**

- [1] Ayasun Saffet, and Nwankpa Chika O, 2005, "Induction Motor Tests Using MATLAB/Simulink and Their Integration Into Undergraduate Electric Machinery Courses", *IEEE Trans. on Education*, Vol. 48, No. 1, February 2005, pp. 37 – 46.
- [2] Cowern, Ed, 2000, "Keep Up to Speed with Motor Terms", *EC&M*, January, pp. 52-56.
- [3] Ghai, N. K., 1999 "IEC and NEMA Standards for Large Squarrel-cage Induction Motors-A comparison", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 14 (3), pp. 545-552.

- [4] Kumar R. Srecrema, R Ramanujam and Jenkins L. HP Khincha, 1998," Induction motor modelling and interfacing technique for fast transient stability simulation, *IEEE Trans. on Energy Conversion*, (0-7803-4962-8/98), pp. 548 – 551.
- [5] Richardson, D. V. and Caisse, A. J. Jr., 1997, "Rotating Electric Machinery and Transfomer Technology", Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [6] Sawhney, A.K., 1990, "A Cours in Electrical Machine Design", Dhanpat Rai & Son, Delhi-Jullundur, India.