

**Penggunaan Algoritma Genetika Untuk Optimasi
 Penentuan Parameter Motor Induksi
 Dengan Model D-Q**

Birowo, Kusno Suryadi

*Dosen Teknik Elektro, Universitas Gajayana Malang, dan
 Jl. Merjosari, Dinoyo, Malang Telp. (0341) 570059 Fax. (0341) 582168
 e-mail: Iksanul@Yahoo.com*

Abstraksi

Parameter motor induksi, tiga-fasa, yang akan dipakai melakukan prediksi dari kinerja motor tersebut, ditentukan berdasarkan data yang tersedia dari pabrik, yang berupa arus maksimum, arus starting, arus beban penuh dan faktor kerja untuk beban penuh. Bila diinginkan untuk mendapatkan kinerja yang optimum dari motor tersebut, maka parameter-parameter dari motor perlu dikaji lagi dengan menggunakan Algoritma Genetika. Adapun model yang digunakan dari motor tersebut adalah model d-q.

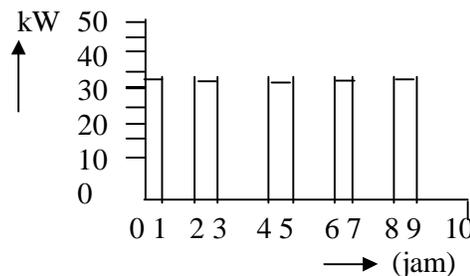
1. Pendahuluan

Daya yang diperlukan oleh pompa untuk memompakan air bersih ditentukan oleh head dan debit air dari pompa. Setelah daya dan kinerja dari pompa diketahui, maka kebutuhan daya dari motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa induksi tiga-fasa ditentukan dari kinerja pompa tersebut. Selanjutnya besar motor beserta data dan parameter dapat ditentukan berdasarkan ukuran yang ada di pasaran.

Namun motor yang tersedia di pasaran seringkali tidak menghasilkan kinerja yang dikehendaki. Karena itu perlu dikaji lagi parameter-parameter dari motor yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya, sehingga diperoleh kondisi arus yang optimum. Hal itu dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika.

2. Pemilihan Motor Untuk Pompa Air

Kinerja dari pompa air di dermaga Ketapang diperlihatkan pada Gambar-1.



Gambar 1. Kinerja pompa air

Berdasarkan gambar-1, maka daya rata-rata yang dibutuhkan oleh pompa adalah 24,16 kW. Selanjutnya dipilih motor yang ada di pasaran dengan data yang tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter motor induksi

HP	33	r_s	0,0556 Ω
V	220	r_r	0,028 Ω
F	50	X_{ls}	0,2158 Ω
T_{mula}	456,6 (N.m)	X_{lr}	0,472 Ω
Pole	2	X_m	3,906 Ω
T_{nom}	35,56 (N.m)	J	0,5900 (kg.m ²)

3. Kinerja Dari Motor

Kinerja motor induksi tiga-fasa dapat diprediksi dari model yang dikembangkan untuk maksud itu. Dalam makalah ini digunakan model d-q. Dari parameter model tersebut selanjutnya kinerja dari motor yang dinyatakan oleh kurva karakteristik arus vs. waktu yang dapat ditentukan.

Untuk membuat kinerja dari motor menjadi optimum, maka parameter dari motor perlu dikaji lagi dengan menggunakan Genetic Algorithm. Makalah ini akan membahas hal tersebut.

4. Model Motor Induksi Tiga-fasa

Persamaan tegangan untuk motor induksi dalam model d-q adalah:

$$V_{ds} = r_s \cdot i_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} - \omega \Psi_{qs} \quad \dots\dots (1)$$

$$V_{qs} = r_s \cdot i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} - \omega \Psi_{ds} \quad \dots\dots (2)$$

$$V'_{qr} = r'_r \cdot i'_{qr} + \frac{d\lambda'_{qr}}{dt} + (\omega_e - \omega_r) \lambda'_{dr} \quad \dots\dots (3)$$

$$V'_{dr} = r'_r \cdot i'_{dr} + \frac{d\lambda'_{dr}}{dt} + (\omega_e - \omega_r) \lambda'_{qr} \quad \dots\dots (4)$$

$$\Psi_{qs} = L_{qs} i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad \dots\dots (5)$$

$$\Psi_{ds} = L_{ds} i_{ds} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \quad \dots\dots (6)$$

$$\Psi_{dr} = L_{dr} i_{dr} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \quad \dots\dots (7)$$

Persamaan 1 sampai dengan 8 dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$V_{qd} = Z_{qd} I_{qd} \quad \dots\dots (8)$$

dengan

$$\Psi_{qr} = L_{qr} i_{qr} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad \dots\dots (9)$$

$$V_{qd} = \begin{vmatrix} v_{qs} & v_{ds} & v'_{qr} & v'_{dr} \end{vmatrix}^t \quad \dots\dots (10)$$

$$I_{qd} = \begin{vmatrix} i_{qs} & i_{ds} & i'_{qr} & i'_{dr} \end{vmatrix}^t \quad \dots\dots (11)$$

dan Z_{qd} adalah matrix impedansi yang dinyatakan oleh

$$\begin{vmatrix} r_s + L_s p & \omega L_s & L_m p & \omega L_m \\ -\omega L_s & r_s + L_s p & -\omega L_m & L_m p \\ L_m p & (\omega_s - \omega_r) L_m & r_r + L_s p & (\omega_s - \omega_r) L_r \\ -(\omega_s - \omega_r) L_m & L_m p & -(\omega_s - \omega_r) L_r & r_r + L_s p \end{vmatrix} \quad \dots\dots (12)$$

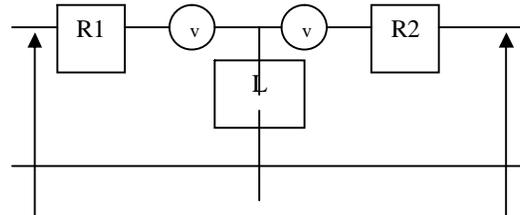
dimana

$$L_s = L_{\sigma} + L_m \quad \dots\dots (13)$$

$$\text{Persamaan untuk torsi dinyatakan oleh } T_e = \frac{3 \cdot p}{4} (\Psi_{ds} \cdot i_{qs} - \Psi_{qs} \cdot i_{ds}) \quad \dots\dots (14)$$

di mana:

Ψ_{ds} dan Ψ_{qs} dinyatakan oleh persamaan 5 dan 6. Berdasarkan persamaan. 1 s/d 4, diagram rangkaian ekivalen untuk motor terlihat pada Gambar-2.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen motor

5. Formulatif Kemudi Motor Induksi

Karakteristik inverter square wave dapat bekerja secara nominal ditunjukkan melalui kurva tegangan terhadap waktu dan arus terhadap waktu seperti pada gambar 3. Tegangan dan arus yang diperoleh sebagai berikut:

Tegangan fundamental:

$$V_{l-l}(rms) = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot Vd \quad \dots\dots (15)$$

Arus fundamental:

$$I_f = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V_{l-l}} \quad \dots\dots (16)$$

keluaran inverter dapat didekati dengan deret Fourier.

$$V_{a-b} = V_{b-c} = V_{a-c} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot V_i \quad \dots\dots (17)$$

Misalnya tegangan V_{l-l} dapat dinyatakan sebagai:

$$\left\{ \sin(\omega_c t + \frac{\pi}{6}) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_c t - \frac{\pi}{6}) \dots\dots \frac{1}{11} \sin(11\omega_c t - \frac{\pi}{6}) \right\}$$

Jika dianggap tidak ada daya yang hilang maka daya dari inverter adalah:

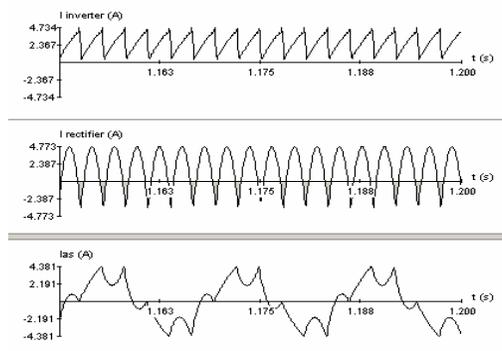
$$V_i I_i = \frac{3}{2} (V_{qs}^e I_{qs}^e + V_{ds}^e I_{ds}^e) \quad \dots\dots (18)$$

Arus inverter menjadi:

$$I_i = \frac{3}{\pi} (I_{qs}^e g_{qs}^e + I_{ds}^e g_{dc}^e) \quad \dots\dots (19)$$

dimana:

$$g_{qs}^e = \frac{12}{35} \cos(6\omega_c t) - \frac{2}{143} \cos(12\omega_c t) + \dots\dots (20)$$



Gambar 3. Karakteristik Arus Maksimal Motor Induksi Keadaan Standart

6. Optimasi parameter motor dengan menggunakan Algoritma Genetika

6.1 Algoritma genetika

Algoritma Genetika adalah metoda yang lain yang bisa digunakan untuk menentukan parameter rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa sehingga diperoleh arus maksimum. Algoritma genetika menggunakan *objective function* yang didasarkan pada suatu kriteria kinerja untuk menentukan *error*.

Parameter rangkaian ekivalen (Gb.2) dipakai sebagai pedoman dalam menentukan optimasi torsi motor induksi. Persamaan torsi untuk locked rotor, breakdown, dan full-load membentuk multiobjective optimization problem, dimana tiap persamaan adalah fungsi dari tiga atau lebih dari parameter mesin. Tiga persamaan torsi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_1(R_1, R_2, X_1) = T_e - T_{fl} \quad \dots\dots (21)$$

$$F_2(R_1, R_2, X_1) = T_e - T_{lr} \quad \dots\dots (22)$$

$$F_3(R_1, X_1) = T_e - T_{bd} \quad \dots\dots (23)$$

di mana T_e adalah persamaan (14).

Selanjutnya parameter rangkaian ekuivalen motor, dikodekan dengan bilangan desimal dan nilai fitness (kemampuan) maksimum didapatkan untuk menentukan torsi tersebut. Maka setiap parameter rangkaian ekuivalen motor induksi dapat dilakukan dengan algoritma genetika. Dalam hal ini error function diperoleh sebagai formula dari kuadrat torsi error function, sedangkan fitness function adalah inverse dari error. Sasaran dari algoritma genetika membuat nilai error minimum atau membuat fitness maksimum.

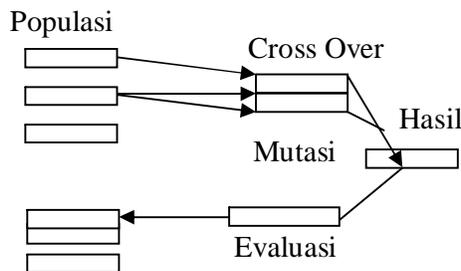
Error function dapat dituliskan sebagai:

$$\varepsilon = F_1(.)^2 + F_2(.)^2 + F_3(.)^2 \quad \dots\dots (24)$$

sedangkan fitness dinyatakan oleh

$$\text{Fitness} = 1 / \varepsilon \quad \dots\dots (25)$$

Secara umum proses algoritma genetika, yang dilukiskan dalam gambar 4 terdiri dari:



Gambar 4. Algoritma genetika

a. Pembangkitan Spesies

$$c^k = [x_1^k, y_1^k, x_2^k, y_2^k, \dots, x_m^k, y_m^k] \dots\dots (25)$$

b. Perkalian Silang

$$x_i = r_i \cdot x_i^{k1} + (1 - r_i) \cdot x_i^{k2} \dots\dots (26a)$$

$$y_i = r_i \cdot x_i^{k1} + (1 - r_i) \cdot x_i^{k2} \dots\dots (26b)$$

c. Mutasi

Nilai random dinyatakan oleh:

$$x_i = x_i^k + \text{random nilai [E]} \dots\dots (27a)$$

$$y_i = y_i^k + \text{random nilai [E]} \dots\dots (27b)$$

dimana: E: bilangan real positif

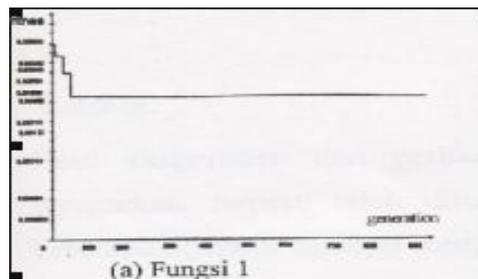
$$x_i = \text{nilai random [x}_{\min}, x_{\max}] \dots\dots (28a)$$

$$y_i = \text{nilai random [y}_{\min}, y_{\max}] \dots\dots (28b)$$

Hasil evaluasi pada proses algoritma genetika, digunakan untuk mencari nilai error terkecil atau nilai fitness terbesar. Nilai error yang diperoleh, digunakan untuk menentukan parameter motor induksi tersebut. Parameter motor induksi tersebut didapat dari rangkaian ekivalen motor induksi model d-q.

6.2 Hasil Perhitungan

Hasil dari nilai fitness yang dinyatakan oleh kurva fitness vs jumlah generasi yang terlihat pada gambar-5 menghasilkan parameter dengan harga torsi-torsi optimum yang terlihat pada Tabel 2.

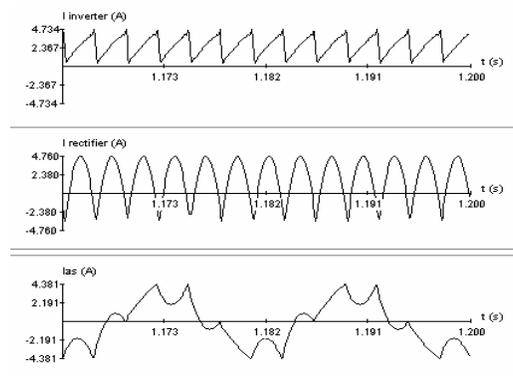


Gambar 5. Nilai fitness terhadap populasi

Tabel 2. Parameter Motor Induksi Dengan Metode Algoritma Genetika

HP	33	r_s	0,030 Ω
V	220	r_r	0,016 Ω
F	50	X_{ls}	0,12 Ω
T_{mul} a	527.,89 (N.m)	X_{lr}	0,26 Ω
Pole	2	X_m	2,164 Ω
T_{nom}	42,3 (N.m)	J	0,5900 (kg.m ²)

Dan dengan cara yang sama karakteristik arus vs waktu dari data pada tabel 3 dapat ditentukan hasilnya terlihat pada gambar-6.



Gambar 6. Karakteristik arus maksimal motor induksi hasil proses algoritma genetika

7. Kesimpulan

Dengan algoritma genetika nilai arus maksimum, arus awal dan arus nominal dapat dinaikkan secara optimum seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi Motor Induksi

Torsi	Motor Induksi Dengan Data Standart (Amp)	Motor Induksi Dengan Data Hasil Optima Si (Amp)
Arus max	3700	7341
Arus nom	55.315	60.318

Daftar Pustaka

- [1]. T.A Lipo and A Consoli, "Modelling and simulation of induction motors with saturable leakage reactances, "IEEE, Trans. Ind. Applicat. Vol.IA-20, pp 180-198, Jan/Feb. 1984.
- [2]. J.A de Kock,F.S van der Merwe, and H. J. Vermeuler, "Induction Motor parameter estimation throught an output error technique", IEEE/PES 1993 Winter meets Columbus, OH, Jan 31 Feb 5, 1993 paper no.93 WM 019-9 EC
- [3]. E. Muljadi, "PV Water Pumping with a Peak-Power Tracker Using a Simple Six-Step Square-Wave Inverter", IEEE Transaction ON Industry Application, Vol 33 No. 3, May/Juni 1997.
- [4]. Ray Nolan, and Towhidul Haque, "Application Of Genetic Algoritms to Motor Parameter Determination For Transien Torque Calculations", IEEE Transaction On Industry Applicate.", September/Oktober 1997.
- [5]. Warring R.H., "Pump Selection", System And Application, Second Edition, Trade And Technical Press Ltd, Morgen, Surrey, SM 45 EW, England, 1984.
- [6]. Lawrence Davis," Handbook Of Genetic Algoritma", Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [7]. Goldberg, "Genetic Algoritma In Machine", New York 1996.