

Perancangan Kendali Kecepatan Mesin Arus Searah Tanpa Sikat dengan Menggunakan PID – Algoritma Genetika

Richardus Dhimas Krisnawan Agustika, Sasongko P.H, Suharyanto

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
dhimas_msee11@mail.ugm.ac.id

Abstrak – *Mesin arus searah tanpa sikat (MASTS) sebenarnya merupakan mesin sinkron dengan magnet permanen. Keunggulannya yaitu perawatannya lebih mudah, umur pemakaian lebih lama, tidak menimbulkan electrical noise, konsumsi energi yang kecil dan memiliki range kecepatan yang lebih besar. Pengendalian kecepatan MASTS perlu dilakukan agar respon kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengendalian MASTS, salah satunya yaitu dengan penggunaan kendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID). Kendali PID merupakan kendali yang banyak digunakan dalam proses kontrol di industri, karena kendali PID sangat efektif, implementasinya sederhana, dan luas penggunaannya. Namun, kendali PID memerlukan penalaan yang akurat untuk menentukan nilai konstanta yang digunakan. Ada berbagai cara untuk melakukan penalaan konstanta PID, contohnya metoda Ziegler-Nichols dan metoda algoritma genetika. Dalam makalah ini, respon terbaik dihasilkan dengan metoda algoritma genetika dengan objective function MSE yang menghasilkan konstanta proporsional (K_p) 15,5032, konstanta integral (K_i) 22,1152, dan konstanta derivatif (K_d) 17,3529.*

Kata kunci: *PID, algoritma genetika, Ziegler-Nichols*

Abstract – *Brushless direct current (BLDC) machine is actually a synchronous machine with permanent magnets. The advantage is easier maintenance, longer service life, do not give rise to electrical noise, small energy consumption and has a greater range of speeds. There are several methods that can be used in the control of masts, one of which is the use of control Proportional - Integral - Derivative (PID). PID control is a control that is widely used in industrial process control, as PID control is very effective, simple implementation, and widespread use. However, PID control requires accurate tuning to determine the value of constants used. There are various ways to perform tuning PID constants, eg Ziegler Nichols method and the method of genetic algorithms. In this paper, the best response is generated by the method of genetic algorithms with MSE objective function that produces a proportional constant (K_p) 15.5032, integral constants (K_i) 22.1152, and the derivative constant (K_d) 17.3529.*

Key words: *PID, genetic algorithm, Ziegler-Nichols*

I. PENDAHULUAN

Mesin arus searah memiliki peranan penting di dalam dunia industri. Mesin-mesin tersebut banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang tinggi dan karakteristik hubungan torsi-kecepatan yang linear. Pengendaliannya juga sederhana dan tidak membutuhkan rangkaian yang rumit. Akan tetapi, mesin tersebut membutuhkan perawatan yang rutin, karena sikat yang digunakan sebagai komutator mekanik mudah mengalami keausan dan harus diganti. Selain itu, penggunaan komutator mekanik juga menghasilkan efek yang merugikan seperti timbulnya percikan api, *noise* akustik dan timbunan karbon yang dihasilkan dari sikat. Untuk mengatasinya maka dikembangkan mesin arus searah tanpa sikat (MASTS). MASTS sebenarnya merupakan mesin sinkron dengan magnet permanen.

MASTS memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan dengan mesin arus searah konvensional. Keunggulannya antara lain karena motor ini tanpa sikat maka perawatan menjadi lebih mudah, umur pemakaian lebih lama dan tidak menimbulkan *electrical noise*. Selain itu MASTS memiliki respon dinamik yang tinggi,

efisiensi yang tinggi, konsumsi energi yang kecil dan memiliki range kecepatan yang lebih besar [1].

Pengendalian kecepatan MASTS perlu dilakukan agar respon kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Tanpa pengaturan kecepatan motor maka respon kecepatan yang didapatkan masih kurang baik. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengendalian MASTS, salah satunya yaitu dengan penggunaan kendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID). Kendali PID merupakan kendali yang banyak digunakan dalam proses kontrol di industri. Hal ini dikarenakan kendali PID sangat efektif, implementasinya sederhana, dan luas penggunaannya. Akan tetapi, kendali PID memerlukan penalaan yang akurat untuk menentukan nilai konstanta yang digunakan. Metode penalaan yang dapat digunakan dan cukup akurat yaitu menggunakan algoritma genetika. Algoritma genetika merupakan metode adaptif yang biasa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi [2].

II. LANDASAN TEORI

A. Mesin Searah Tanpa Sikat

MASTS ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet (B) yang nilainya dihitung menggunakan persamaan (1).

$$B = \frac{\mu Nl}{2i} \quad (1)$$

Dimana μ merupakan permeabilitas bahan, N merupakan jumlah lilitan, l merupakan panjang lilitan dan i merupakan arus.

Arus yang diberikan berupa arus AC fasa sehingga nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah – ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan N_s yang nilainya dihitung menggunakan persamaan (2).

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2)$$

Dimana f merupakan frekuensi tegangan input dinyatakan dalam Hz per satuan detik, p merupakan jumlah kutub (pole) pada rotor dan 120 didapat dalam 1 putaran (360) per 3 fasa motor. Ketika motor berputar permanent magnet pada rotor bergerak melewati kumparan stator dan menginduksi potensial listrik dalam kumparan tersebut, maka terjadinya Bemf. Bemf berbanding lurus dengan kecepatan MASTS.

B. Pengendali Proporsional, Integral, Derivatif

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proporsional), D (Derivatif) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. Kontrol PID akan memperbaiki kesalahan antara output dengan input atau *setting point* dengan menghitung dan memberikan koreksi output. Secara umum, pengendali PID memiliki bentuk seperti persamaan (3).

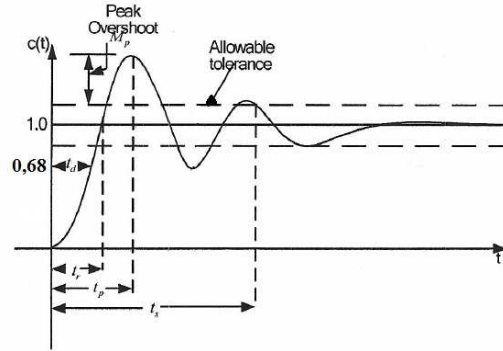
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (3)$$

Apabila persamaan (3) diubah menggunakan transformasi Laplace maka akan memiliki bentuk seperti persamaan (4).

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + sK_d \quad (4)$$

Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

C. Analisis Respon Waktu



Gambar 1. Kurva respons transient sistem

Respon transien sistem kendali sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai kondisi *steady state*. Jika keluaran *steady state* sistem tidak sama dengan masukannya maka sistem tersebut mempunyai kesalahan kondisi *steady state*. Kesalahan inilah yang merupakan tolok ukur ketelitian suatu sistem.

Dari Gambar 1 tampak beberapa parameter yang digunakan dalam analisis *transient*. Parameter-parameter tersebut antara lain:

- 1) *Delay time* (waktu tunda), t_d , adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai nilai 68% dari nilai masukan yang diberikan.
- 2) *Rise time* (waktu naik), t_r , adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik mulai naik dari 10 – 90%, 5 – 95% atau 0 – 100% dari nilai masukan yang diberikan.
- 3) Waktu puncak (t_p) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak overshoot untuk pertama kali.
- 4) *Steady state error* adalah selisih nilai masukan dengan nilai aktual respon dalam keadaan tunak pada waktu tak berhingga.
- 5) Maksimum *overshoot* adalah harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari nilai masukan. Jika nilai respon keadaan tunak tidak sama dengan nilai masukan yang diberikan, maka persen overshoot didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:
- 6) Waktu tunak adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar nilai masukan yang diberikan (dalam daerah toleransi yang dapat diterima. Ukurannya ditentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir yang biasanya 5% atau 2 %.

D. Algoritma Genetika

Algoritma genetika sebagai cabang dari algoritma evolusi merupakan metode adaptif yang biasa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Dengan meniru teori evolusi, algoritma genetika dapat digunakan untuk mencari solusi permasalahan-permasalahan dalam dunia nyata.

Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu, yang masing-masing individu mempresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi persoalan yang ada [3]. Dalam kaitan ini, individu dilambangkan dengan sebuah nilai *fitness* yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada.

III. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan MASTS

Pemodelan MASTS tersebut telah dilakukan oleh Hidayat, Sarjiya, Sasongko P.H, dan Suharyanto, 2010 [4]. Metode pemodelan yang dilakukan menggunakan metode ARX dengan mengamati hubungan masukan dan keluaran sistem. Dari pemodelan yang telah dilakukan didapatkan bahwa MASTS yang digunakan memiliki fungsi alih seperti persamaan

$$tf = \frac{-212s + 39125}{17s^2 + 10592s + 36123} \quad (5)$$

B. Perancangan Pemrograman Penalaan PID Metoda Ziegler-Nichols

Pemrograman dilakukan dengan memberikan masukan *transfer function* MASTS yang akan digunakan. Penalaan PID menggunakan metode Ziegler-Nichols dapat menggunakan metode osilasi maupun metode kurva reaksi. Perangkat lunak yang digunakan dalam pemrograman adalah MATLAB.

C. Perancangan Pemrograman Penalaan PID Metoda Algoritma Genetika

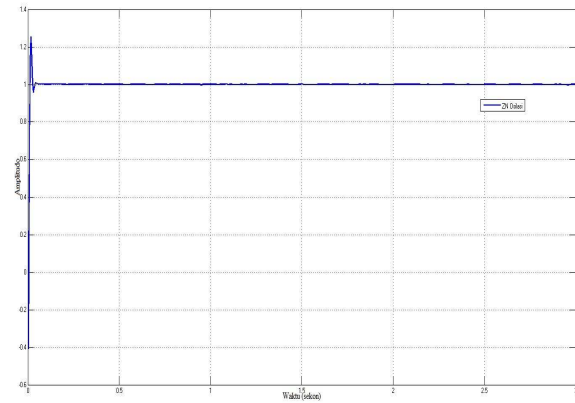
Pemrograman dilakukan dengan memberikan masukan *transfer function* MASTS yang akan digunakan. Inisialisasi populasi harus dilakukan sebelum menjalankan algoritma genetika. Langkah berikutnya yaitu melakukan setting parameter-parameter yang digunakan dalam algoritma genetika. Algoritma genetika bisa dijalankan apabila semua kondisi sudah terpenuhi. Program dibuat menggunakan perangkat lunak MATLAB.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penalaan PID Ziegler-Nichols Metode Osilasi

Setelah program yang telah dibuat dijalankan maka akan didapatkan nilai konstanta PID sebagai berikut, $k_p = 29,3896$; $k_i = 108,9306$; dan $k_d = 435,7225$ dan menghasilkan respon kecepatan seperti Gambar 2.

Dari Gambar 2 bisa dianalisis bahwa waktu tundanya 0,0098 sekon, waktu naiknya 0,0045 sekon, *error steady state* 0 dan memiliki *overshoot* 25,48%.

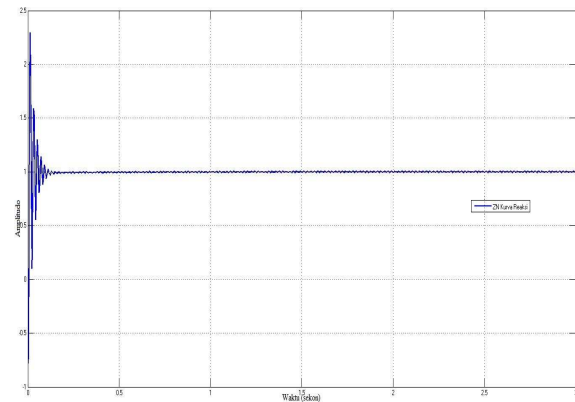


Gambar 2. Respon kecepatan PID Ziegler-Nichols metoda osilasi

B. Hasil Penalaan PID Ziegler-Nichols Metode Kurva Reaksi

Setelah program yang telah dibuat dijalankan maka akan didapatkan nilai konstanta PID sebagai berikut, $k_p = 44,0733$; $k_i = 72,1571$; dan $k_d = 288,6283$ dan menghasilkan respon kecepatan seperti Gambar 3.

Dari Gambar 3 bisa dianalisis bahwa waktu tundanya 0,0078 sekon, waktu naiknya 0,0018 sekon, *error steady state* 0 dan memiliki *overshoot* 129,375%.

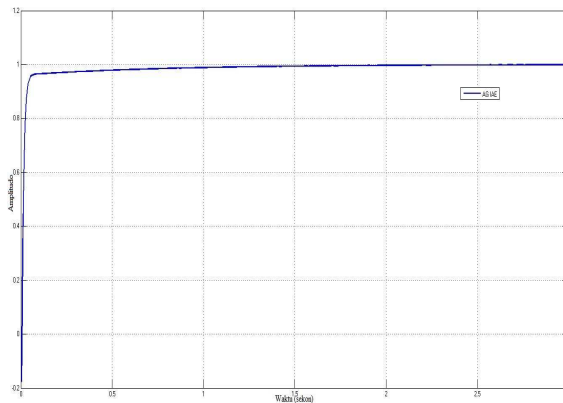


Gambar 3. Respon kecepatan PID Ziegler-Nichols metoda kurva reaksi

C. Hasil Penalaan PID Algoritma Genetika IAE

Setelah program yang telah dibuat dijalankan maka akan didapatkan nilai konstanta PID sebagai berikut, $k_p = 44,6789$; $k_i = 18,7175$; dan $k_d = 15,9967$ dan menghasilkan respon kecepatan seperti Gambar 4.

Dari Gambar 4 bisa dianalisis bahwa waktu tundanya 0,0197 sekon, waktu naiknya 0,027 sekon, tidak memiliki *error steady state* dan tidak memiliki *overshoot*.

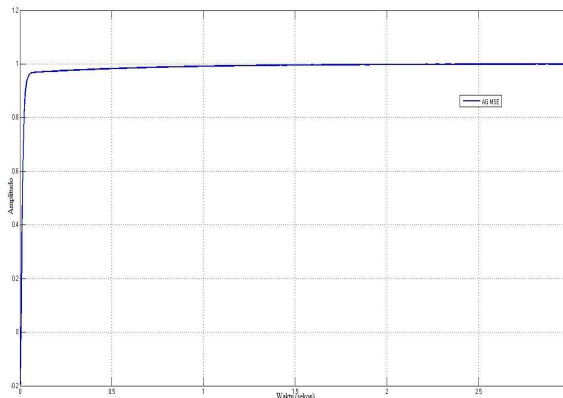


Gambar 4. Respon kecepatan PID algoritma genetika IAE

E. Hasil Penalaan PID Algoritma Genetika MSE

Setelah program yang telah dibuat dijalankan maka akan didapatkan nilai konstanta PID sebagai berikut, $k_p = 15,5032$; $k_i = 22,1152$; dan $k_d = 17,3529$ dan menghasilkan respon kecepatan seperti Gambar 5.

Dari Gambar 5 bisa dianalisis bahwa waktu tundanya 0,0183 sekon, waktu naiknya 0,023 sekon, tidak memiliki *error steady state* dan tidak memiliki *overshoot*.



Gambar 5. Respon kecepatan PID algoritma genetika MSE

V. KESIMPULAN

Nilai konstanta PID yang dihasilkan agar respon kecepatan MASTS maksimal yaitu konstanta pengendali proporsional (k_p) = 15,5032, konstanta pengendali integral (k_i) = 22,1152, dan konstanta pengendali derivatif (k_d) = 17,3529. Nilai-nilai tersebut merupakan hasil penalaan konstanta PID menggunakan algoritma genetika dengan *objective function Mean Square Error* (MSE). Respon kecepatan yang dihasilkan dari konstanta engendali tersebut yaitu waktu tunda = 0,0183 sekon, waktu naik = 0,023 sekon, tidak memiliki *error steady state* dan tidak terjadi *overshoot*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Tenaga Listrik III Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan Balai Standardisasi Metrologi Legal Regional II Direktorat Metrologi Direktorat Jenderal Standardisasi dan Perlindungan Konsumen Kementerian Perdagangan Republik Indonesia.

PUSTAKA

- [1] Baldursson, Stefán, BLDC Motor Modelling and Control- A Matlab®/Simulink® Implementation, *Master Thesis*. Institutionen för Energi och Miljö Chalmers Tekniska Högskola. 2005.
- [2] Lin, L., Jan, H.Y., Shieh, N.C., GA-based Multiobjective PID Control for a Linear Brushless DC Motor, *IEE Trans. Mechatronics 8(1)*, 2003. pp 56-65
- [3] Gundogdu, Omer, Optimal-Tuning of PID Controller Gains Using Genetic-Algorithms, *Journal of Engineering Sciences 11 (1)*.2005. pp 131-135
- [4] Hidayat, Sarjiya, Sasongko.PH, Suharyanto, Fakultas Teknik UGM, *Strategi Kontrol Kecepatan dan Torsi Mesin Arus Searah Tanpa Sikat*, Paper Seminar CITEE, Yogyakarta, 2010.