

ESTIMASI PARAMETER ADAPTIF MOTOR DC DENGAN METODE ALGORITMA GENETIK

Tedjo Sukmadi

tejo@elektro.ft.undip.ac.id

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Abstrak

Motor DC merupakan jenis motor yang banyak digunakan di industri, elektronik dan komponen pendukung untuk beberapa peralatan atau instrumentasi elektronik. Aplikasi industri motor DC yang dipergunakan dalam industri pada umumnya memiliki kapasitas daya yang relatif besar dan disesuaikan dengan beban mekanis dan volume produksi. Identifikasi motor DC dengan HP besar dengan menggunakan simulasi program komputer akan banyak membantu dalam pengamatan karakteristik dinamis motor tersebut. Informasi yang dihasilkan bermanfaat dalam perencanaan dan biaya investasi. Alasan lain identifikasi motor DC dengan program komputer adalah dapat dilakukannya proses simulasi gangguan pada sistem tersebut tanpa harus mempertaruhkan keselamatan sistem. Dalam pembuatan model motor DC yang optimal dalam artian mendekati karakteristik nyata, metode yang dipergunakan adalah algoritma genetik. Algoritma genetik adalah suatu metode pencarian solusi yang berdasarkan pada seleksi alam dan evolusi genetik. Algoritma genetik membentuk model motor DC dengan dasar rangkain ekuivalen. Pembentukan model dilakukan dengan tidak merekonfigurasi tetapi menentukan nilai-nilai parameter adaptif motor tersebut. Penelitian menghasilkan solusi optimal untuk program ini adalah pada skenario pengujian #1 dengan MSE 0,0061.

Kata kunci : Parameter Adatif, Motor DC, Algoritma Genetik

I. Pendahuluan

Motor DC (Direct Current) atau motor arus searah termasuk dalam kategori jenis motor yang paling banyak digunakan baik dalam lingkungan industri, peralatan rumah tangga hingga ke mainan anak-anak ataupun sebagai piranti pendukung sistem instrumen elektronik. Motor DC memiliki jenis yang beragam mulai dari tipe magnet permanen, seri, shunt ataupun jenis magnet kompon. Tipe motor DC diimplementasikan berdasarkan jenis magnet yang digunakan. Kelebihan motor DC memiliki torsi yang tinggi, tidak memiliki kerugian daya reaktif dan tidak

menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik yang mensuplainya. Selain torsi motor DC juga memiliki akurasi kontrol yang tinggi sehingga motor DC sering digunakan untuk aplikasi servo seperti pengendali kecepatan pemintal benang atau pengendali posisi antena penerima satelit.

Perencanaan suatu sistem tenaga baik dalam skala industri besar ataupun kecil tidak akan lepas dari suatu asumsi bagaimana sistem ini akan berjalan dengan baik melalui suatu sudut tinjauan perilaku atau karakteristik sistem. Karakteristik utama yang harus diketahui adalah karakteristik elektrik sistem tersebut seperti lonjakan arus start, profil tegangan transien hingga analisa transien pada saat sistem terjadi gangguan. Kemampuan mengetahui kondisi sistem yang sebenarnya akan memberikan hasil perencanaan yang baik dan optimal. Proses interpretasi atau menafsirkan perilaku sistem bukan merupakan pekerjaan yang mudah karena akan berkaitan dengan perilaku statik dan dinamik sistem. Permodelan dan simulasi harus dilakukan secara iteratif dan trial-error. Penggunaan perangkat lunak komputer juga akan menentukan akurasi model yang diambil.

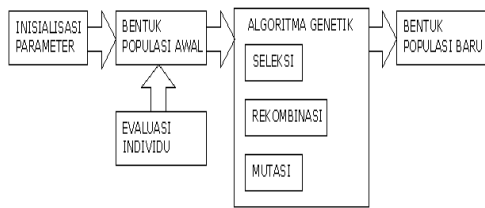
Algoritma genetik merupakan metode yang banyak dipergunakan oleh para ilmuwan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan tak linier. Algoritma ini mengadopsi mekanisme seleksi alam dan evolusi genetik sebagai dasar pemikirannya. Algoritma genetik pertama kali diperkenalkan oleh John Holland sebagai whitepaper di Universitas Michigan. Pada tahap awal algoritma ini tidak begitu menarik minat para ilmuwan, setelah De Jong murid John Holland mengimplementasikan algoritma genetik untuk memecahkan permasalahan kalkulus yang pada saat itu algoritma kalkulus tidak dapat memecahkannya barulah banyak ilmuwan berniat untuk mempelajarinya.

II. DASAR TEORI

A. Algoritma Genetik

Algoritma genetik digunakan untuk keperluan pengembangan pemrograman komputer dan untuk

aplikasi sistem kecerdasan komputer pada penyelesaian permasalahan-permasalahan non-linier.



Gambar 1. Siklus Dasar Algoritma Genetik

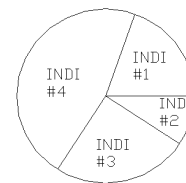
Algoritma genetik didefinisikan sebagai suatu teknik pencarian yang berbasis pada mekanisme evolusi genetik dan seleksi alam. Siklus dasar algoritma genetik dapat dilihat Gambar 1. Siklus algoritma genetik dimulai dengan menginisialisasi semua parameter algoritma genetik seperti ukuran populasi, panjang kromosom, kemudian dibentuk populasi awal, secara acak sehingga terbentuk individu-individu dengan kromosom acak sehingga kualitas individu cenderung rendah. Setelah populasi awal terbentuk maka dilakukan proses evaluasi. Proses ini bertujuan untuk memberikan penilaian setiap individu yang dihitung berdasarkan persamaan obyektif yang dimiliki. Setelah kualitas individu diketahui maka dilakukan ranking terhadap individu terbaik hingga terburuk dan dilakukan pemilihan induk. Proses ini sudah masuk pada proses algoritma genetik. Setelah terpilih induk maka dilakukan rekombinasi dan dilanjutkan dengan mutasi. Setelah satu proses selesai maka akan diperoleh sekumpulan individu baru yang kemudian disebut sebagai generasi baru. Proses ini berlanjut hingga ke suatu generasi yang kemudian akan dinyatakan sebagai generasi saturasi. Pada generasi ini perbedaan kualitas antar individu sudah tidak begitu signifikan.

B. Mekanisme Seleksi

Seleksi adalah suatu operator algoritma genetik yang berfungsi memilih individu-individu yang akan dijadikan induk pada proses rekombinasi. Metode seleksi yang paling banyak dipergunakan adalah metode Roulette Wheel Selection (RWS). Metode ini sama dengan metode yang dipergunakan pada permainan rolet, dimana setiap angka dinyatakan dalam suatu luasan sektor dalam lingkaran. Terpilihnya suatu sektor dalam satu putaran ditentukan oleh luasan yang dimiliki, semakin luas maka akan semakin sering terpilih. Pada permainan rolet semua sektor memiliki luasan

yang sama sehingga kemungkinan yang dimiliki setiap luasan sama.

Perbedaan yang mendasar antara permainan rolet dengan metode RWS adalah pada RWS luasan sektor pada lingkaran rolet sebanding dengan kualitas masing-masing individu. Semakin baik kualitas individu maka semakin luas sektor yang dimiliki olehnya. Gambaran metode ini diperlihatkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan 4 individu yang direpresentasikan di dalam suatu roda rolet. Data ke-4 individu tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 2. Lingkaran Rolet RWS

Tabel 1. Statistik kualitas individu

N	Individ	Kualitas
1	Indi #1	0.20
2	Indi #2	0.08
3	Indi #3	0.30
4	Indi #4	0.42

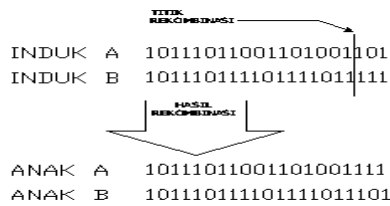
Jika dilihat pada roda rolet maka individu nomer 4 memiliki kemungkinan terpilih terbesar karena memiliki kualitas 0.42 sedangkan individu nomer 2 memiliki kemungkinan terkecil karena memiliki kualitas 0.08. Besar nilai kualitas terhitung menggunakan persamaan obyektif suatu permasalahan yang akan dipecahkan.

Mekanisme pemilihan dilakukan dengan memutar roda rolet secara acak kemudian ditunggu hingga roda itu berhenti pada suatu sektor tertentu. Walaupun individu nomer 2 memiliki luasan sektor paling kecil tidak berarti individu ini tidak pernah terpilih pada suatu proses pemilihan, ingat piringan rolet dapat berhenti di semua sektor. Mekanisme rolet memiliki kesamaan dengan seleksi alam siapa yang terkuat pasti memiliki kemampuan terpilih yang terbesar.

C. Mekanisme Rekombinasi

Rekombinasi adalah suatu proses pertukaran struktur kromosom antara dua induk yang terpilih pada proses seleksi dengan tujuan untuk menciptakan keragaman materi genetik individu pada generasi baru. Individu hasil dari proses rekombinasi akan tetap mewarisi sifat-sifat yang

dimiliki induknya hal ini penting untuk menjaga kualitas individu pada generasi berikutnya. Proses rekombinasi diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Rekombinasi

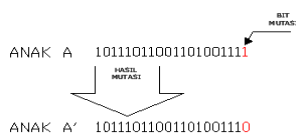
Proses rekombinasi dilakukan dengan cara memilih dua induk dengan kualitas yang baik setelah itu dilakukan proses ekstraksi kromosom setiap induk. Titik rekombinasi ditentukan secara acak, setelah ditentukan dimana titik rekombinasi maka dilakukan pertukaran bit-bit kromosom disebelah kanan titik kromosom sehingga terbentuk keturunan yaitu anak A dan B. Kromosom anak sebagian besar masih mewarisi kromosom induk tetapi sebagian lagi sudah terjadi pertukaran materi genetik antar kromosom.

Proses rekombinasi memiliki nilai kemungkinan yang besar dalam satu siklus algoritma genetik karena tujuan utamanya adalah membentuk keragaman individu, semakin tinggi probabilitas rekombinasi maka semakin cepat keragaman terbentuk.

D. Mekanisme Mutasi

Mutasi adalah operator algoritma genetik yang berguna untuk membentuk individu-individu dengan fitur superior atau memiliki kualitas diatas rata-rata. Selain itu mutasi dipergunakan untuk mengembalikan kerusakan materi genetik akibat proses rekombinasi. Proses rekombinasi terjadi pada level bit kromosom, proses ini akan diimplementasikan kesemua bit yang terdapat dalam suatu kromosom.

Metode mutasi yang paling banyak digunakan adalah metode flip-bit, metode ini memiliki algoritma yang sangat sederhana yaitu dengan merubah 1 menjadi 0 atau merubah 0 menjadi 1. Proses terjadinya mutasi ditentukan besar probabilitas mutasi yang dipergunakan semakin besar semakin sering. Proses mutasi diperlihatkan pada Gambar 4.

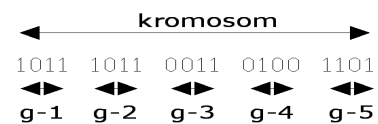


Gambar 4. Proses Mutasi Kromosom

Pada Gambar 4, bit yang mengalami mutasi akan dirubah, suatu contoh pada gambar diatas bit yang bernilai 1 (merah) akan dirubah menjadi 0 (merah). Proses mutasi ini tidak boleh sering dilakukan karena perubahan kualitas individu akan terbentuk secara dramatis baik yang menuju baik atau yang buruk, hal ini akan menuju kesuatu fenomena proses pencarian yang bersifat acak dan keluar dari kaidah-kaidah algoritma genetik yang mengimplementasikan proses pencarian acak yang terbimbing (*Guided Random Search*)

E. Mekanisme Penilaian

Proses penilaian adalah suatu proses yang dipergunakan untuk menentukan nilai kualitas setiap individu dalam suatu populasi. Proses ini cenderung merupakan proses matematis sederhana seperti pengubahan bilangan biner menjadi bilangan desimal, operator-operator aritmatik dan proses perhitungan berdasarkan fungsi objektif, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Model kromosom dan gen

Kromosom merupakan tempat setiap gen berada (g-1, g-2,...g-5) sedangkan setiap gen mewakili satu parameter dalam suatu masalah. Diketahui setiap gen merupakan kode biner untuk mendapatkan nilai aktual gen tersebut diperlukan proses konversi. Sebelum menentukan nilai aktual maka diperlukan nilai konstanta kuantisasi parameter tersebut berdasarkan persamaan berikut:

$$Q_L = \frac{P_{max} - P_{min}}{2^{L_G} - 1}$$

dimana Q_L level kuantisasi
 P_{maks}, P_{min} batas maksimal dan minimal parameter
 L_G panjang bit gen.

Untuk mendapatkan nilai aktualnya maka dipergunakan persamaan berikut. Fungsi decode merupakan fungsi yang dipergunakan untuk merubah bilangan biner ke bilangan desimalnya.

$$Q_{actual} = decode(P_i) \times Q_L + P_{min}$$

dimana Q_{actual} merupakan nilai aktual suatu parameter yang bersangkutan. Dari Gambar 5, g-1 memiliki kode 1011, anggap saja kode tersebut mewakili suatu parameter tegangan (V) yang

diasumsikan memiliki rentang nilai dari 0-220 volt, maka nilai aktual dari g-1 adalah sebagai berikut:

$$Q_L = \frac{P_{maks} - P_{min}}{2^{L_g} - 1} = \frac{220 - 0}{2^4 - 1} = \frac{220}{15}$$

sedangkan nilai adalah 220/15, dan nilai aktualnya adalah :

$$Q_{actual} = decode(g_1) \times Q_L + P_{min} = decode(1011) \times \frac{220}{15} + 0 = 11 \times \frac{220}{15} = 161.33 \text{ Volt}$$

Nilai aktual dari gen g-1 dengan kode 1011 untuk parameter tegangan dengan batas parameter minimum 0 V dan maksimum 220 V adalah 161.33 Volt. Untuk menentukan kualitas setiap individu digunakan fungsi fitness seperti fungsi berikut ini. Fungsi ini terdiri dari parameter-parameter optimasi, sebelum dapat dihitung maka setiap parameter harus dihitung dalam nilai aktualnya.

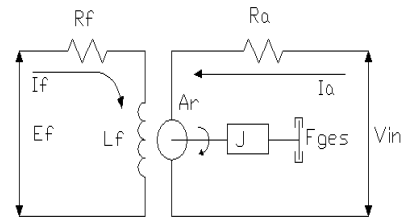
$$F(.) = F(P_1, P_2 \dots P_n)$$

sedangkan fungsi objektif ditentukan apa yang hendak dicapai, pada umumnya fungsi objektif berguna untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu objektif permasalahan. Persamaan fungsi objektif dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$F(.) = \min \text{ or } \max [F(P_1, P_2 \dots P_n)]$$

F. Motor DC

Motor DC yang dipergunakan sebagai bahan penelitian adalah motor DC shunt, model rangkaian ekuivalen yang digunakan ditunjukkan dalam Gambar 6. Model motor DC pada gambar adalah model motor DC standar, model ini akan dioptimasi secara adaptif dengan menggunakan algoritma genetik untuk dapat berkamuflase dengan plant aktualnya. Input yang diperhatikan adalah tegangan input dan parameter keluaran yang diperhatikan adalah kecepatan angular yang dihasilkan.



Gambar 6. Rangkaian ekuivalen motor DC

Dimana

- Rf** resistansi belitan medan (Ohm)
- Ef** tegangan catu medan (Volt)
- If** arus medan (Amp)
- Ar** tegangan armatur (Volt)
- J** momen inersia (Kg.det²)
- Fges** koefisien gesek (N.m/rad/det)
- Ra** resistansi armature (Ohm)
- Vin** tegangan input motor DC (Volt)

Analisa motor DC dimulai dengan analisa torsi yang dihasilkan motor DC yaitu:

$$T = K_1 \psi I_a$$

dimana T adalah torsi, K₁ konstanta, Ψ fluks (wb/m²) dan I_a adalah arus armatur.

Karakteristik motor DC adalah fluks yang dihasilkan pada belitan sebanding dengan tegangan arus medan pada belitan tersebut, maka :

$$\psi = I_f \quad \text{maka :}$$

$$T = K_2 I_f$$

Persamaan KVL pada belitan medan adalah

$$e_f = L_f \frac{dI_f}{dt} + R_f I_f$$

Persamaan torsi yang berlaku pada motor DC yang berkaitan dengan momen inersia dan koefisien gesekan adalah :

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + F \frac{d\theta}{dt} = T = K_2 I_f$$

Dengan transformasi Laplace :

$$E_f(s) = (L_f s + R_f) I_f(s)$$

$$K_2 I_f(s) = (Js^2 + fs) \theta(s)$$

Diperoleh hubungan

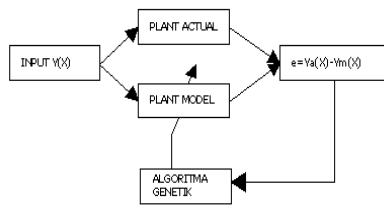
$$I_f(s) = \frac{(Js^2 + f^s) \theta(s)}{K_2}$$

$$\omega(s) = \frac{K_2}{(sJ + f)(sL_f + R_f)} E(s)$$

Persamaan akhir merupakan persamaan adaptif yang akan dipergunakan oleh algoritma genetik untuk men-tuning parameter adaptif plant model motor DC yang akan dioptimasi.

G. Model Sistem Estimasi

Model sistem estimasi parameter adaptif motor DC dengan menggunakan algoritma genetik secara garis besar seperti pada Gambar 7, yang mengilustrasikan proses identifikasi dan tuning plant model yang didesain menggunakan algoritma genetik dan tuning berdasarkan deviasi nilai plant model terhadap plant aktual.



Gambar 7. Model sistem estimasi parameter adaptif

Setiap plant dalam hal ini plant aktual dan plant model, akan mendapatkan input yang sama, setiap plant akan memproses masukan tersebut kemudian akan mengeluarkan parameter keluaran. Kedua parameter keluaran ini akan dibandingkan diambil besar erornya. Error ini akan dipergunakan algoritma genetik untuk mentuning parameter plant model. Proses ini akan berlanjut secara iteratif hingga ditemukan error yang masih dalam batas toleransi.

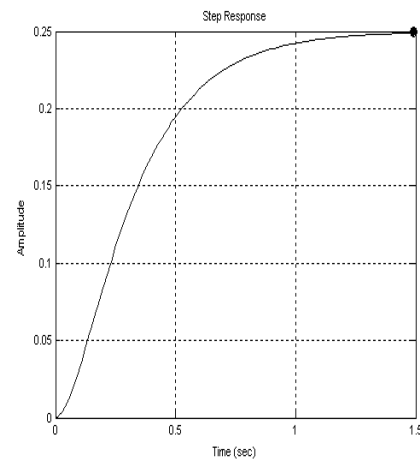
Masukan ke motor DC (plant model, plant aktual) berupa tegangan input (V_{in}) sedangkan parameter keluaran yang dianalisa adalah parameter kecepatan angular ω . Analisa dilakukan dalam model sistem motor DC dalam kawasan kompleks (s-plane) yang disimulasikan untuk masukan unit step tegangan input. Sedangkan parameter yang di tuning meliputi operator numerator dan denominator fungsi alih tegangan input terhadap kecepatan angular yang dihasilkan.

H. Model Penyelesaian Algoritma Genetik

Model penyelesaian permasalahan modeling motor DC menggunakan algoritma genetik adalah dengan mengoptimasi perilaku motor DC dilihat dari tanggapan sistem motor DC terhadap input step. Sebelumnya sudah diketahui hubungan antara kecepatan tegangan input pada motor DC dapat didekati dengan persamaan :

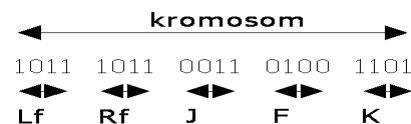
$$\omega(s) = \frac{K_2}{(sJ + f)(sL_f + R_f)} E(s)$$

Fungsi alih tersebut berlaku untuk plant aktual dan plant model motor DC , sehingga karakteristik keluaran yang harus diadaptasi oleh plant model adalah pada saat terjadi perubahan tegangan step input. Sebelum proses adaptasi dilakukan maka plant aktual motor DC harus dilakukan uji coba dengan memberikan tegangan input step kemudian diamati bagaimana pola tanggapan sistem kemudian dilakukan tabulasi data. Setelah data aktual diperoleh maka data tersebut akan dipergunakan sebagai data kamufase adaptif plant model motor DC. Tanggapan motor DC untuk suatu input tegangan step akan menyerupai Gambar 8.



Gambar 8. Tanggapan sistem motor DC terhadap tegangan step input.

Metode optimasi adaptif plant model dengan menggunakan algoritma genetik dilakukan dengan mengoptimasi parameter dinamik yang terdapat pada fungsi alih. Parameter-parameter yang akan dioptimasi adalah L_f , R_f , J , F dan K . Parameter-parameter ini sangat menentukan tanggapan motor DC terhadap perubahan tegangan, dan model kromosom yang dipergunakan digambarkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Model kromosom plant model

Untuk analisa kualitas setiap individu dapat digunakan metode perhitungan error data kelompok salah satunya metode RMS (*Root Mean Square*). Persamaan error RMS dapat didekati dengan persamaan berikut:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{(x_1 - x_{11})^2 + (x_2 - x_{22})^2 + \dots + (x_n - x_{nn})^2}{n}}$$

Persamaan RMS diatas sekaligus dipergunakan sebagai fungsi fitness, yang menyatakan kualitas

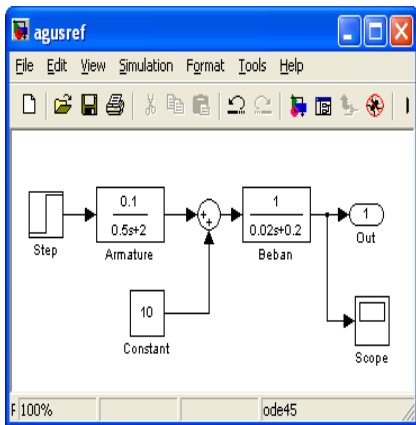
individu yang bersangkutan. X menyatakan data tabulasi antara hasil pengukuran dan hasil simulasi. Fungsi objektif yang harus dicapai adalah meminimalkan error yang dihasilkan oleh plant model, sehingga :

$$F_{obj} = \min(E_{RMS}(.))$$

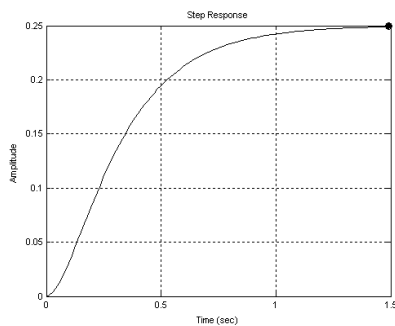
III. PENGUJIAN

A. Pengujian Model Motor DC

Model motor DC yang akan dijadikan referensi adalah model motor DC yang ada di Matlab seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Dari Gambar 10, diperoleh parameter-parameter motor DC yaitu $K=0.1$, $L_a=0.5$ Henry , $R_a=2.0$ Ohm, $J=0.02$ kg.m²/s² dan $F=0.2$ nms dan konstanta gangguan sebesar 10. Hasil respon kecepatan angular yang dihasilkan seperti tampak pada Gambar 11.



Gambar 10. Model Motor DC Referensi



Gambar 11. Kurva kecepatan angular motor DC

Parameter genetik skenario pengujian model motor DC yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma genetik disesuaikan dengan Tabel 2.

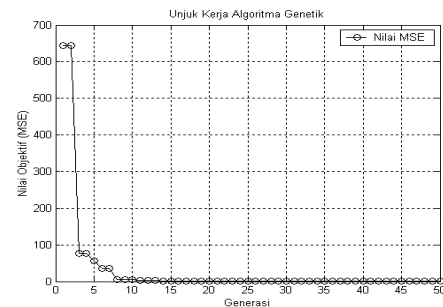
Tabel 2. Parameter algoritma genetik

Skenario	Pc	Pm	Popsize	Gap	K-Mutasi	Generasi
1	1.00	NaN	50	0.9	0.7	50
2	0.95	0.0001	50	0.5	0.6	50
3	0.9	NaN	60	0.9	0.5	50
4	0.85	0.001	60	0.5	0.4	50
5	0.8	NaN	70	0.9	0.3	50
6	0.75	0.01	70	0.5	0.2	50
7	0.7	NaN	80	0.9	0.1	50
8	0.65	0.05	80	0.5	0.8	50
9	0.6	NaN	90	0.9	0.9	50
10	0.5	0.1	90	0.5	1.0	50

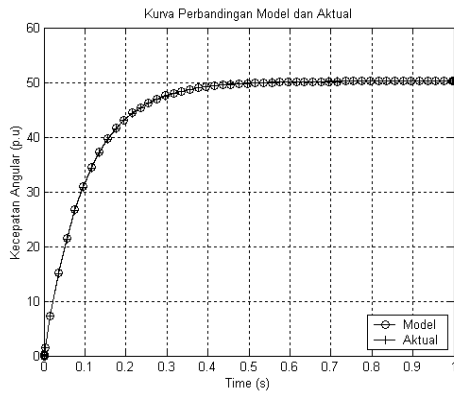
Setiap skenario pengujian algoritma genetik yang akan dilakukan maka parameter algoritma genetik akan menyesuaikan dengan tabel tersebut. Penentuan parameter genetik tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan parameter tersebut terhadap perubahan kinerja algoritma genetik secara keseluruhan. Berikut skenario pengujian-pengujian tersebut dilakukan.

B. Skenario

Pengujian pada skenario #1 menghasilkan individu terbaik dengan nilai MSE sebesar 0.0061 oleh individu nomer 7 pada generasi ke 50. Parameter estimasi motor DC yang diperoleh adalah 0.1870, 0.8698, 1.8774, 0.0197 dan 0.2006. Generasi pertama menghasilkan individu terbaik dengan MSE sebesar 643.2483, perbedaan antara MSE individu generasi pertama dengan generasi terakhir sangat besar kemudian hanya dengan 50 generasi berikutnya dipeoleh MSE yang baik. Hal ini menunjukkan efektifitas algoritma genetik pada skenario #1 sangat tinggi. Simulasi keluaran antara model referensi dengan model hasil ALGEN diperlihatkan pada Gambar 12 dan Gambar 13, model motor DC ALGEN mampu mengadaptasi parameter model motor referensi sehingga hasilnya sangat mirip.

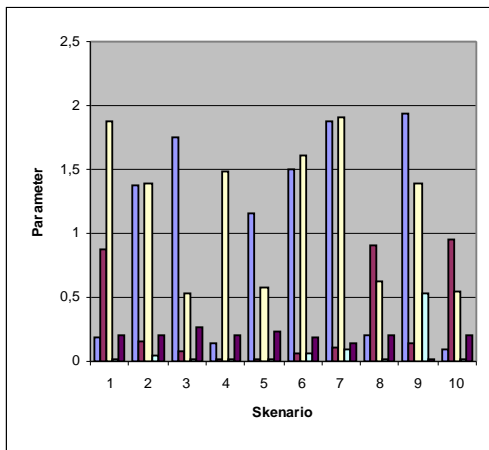


Gambar 12. Kurva Unjuk Kerja ALGEN skenario #1



Gambar 13. Kurva perbandingan kecepatan angular skenario #1

Hasil pengujian untuk skenario-skenario yang lain tidak ditampilkan, tabulasi hasil keseluruhan dapat ditampilkan sebagai berikut; Semua hasil pengujian seperti Gambar 14.



Gambar 14. Kurva perbandingan hasil pencarian ALGEN untuk semua skenario

Tabel 3 merupakan detail *print out* pencarian solusi optimal yang dihasilkan oleh algoritma genetik. Hasil pencarian dikategorikan berdasarkan skenario yang ditentukan dimana setiap skenario mewakili sebuah model parameter genetik. Satuan setiap parameter ditentukan berdasarkan satuan model parameter yang diwakili dari sebuah model motor DC dalam hal ini $P1=K=$ Tanpa Satuan, $P2=L_a=$ Henry, $P3=R_a=$ Ohm, $P4=J=$ kg.m²/s² dan $P5=K_f=$ nms.

Tabel 3 : Hasil pencarian Algoritma Genetik

[10] Ogata K, *Modern Control Engineering*,

Skenario	Pc	Pm	Popsize	Gap	K-Mutasi	Generasi	P1	P2	P3	P4	P5	MSE	IDX
1	1.00	NaN	50	0.9	0.7	50	0,187	0,8698	1,8774	0,0197	0,2006	0,0061	7
2	0.95	0,0001	50	0.5	0.6	50	1,3799	0,1618	1,3852	0,0513	0,1968	56,1691	1
3	0.9	NaN	60	0.9	0.5	50	1,7471	0,0761	0,5352	0,0178	0,2629	0,1644	36
4	0.85	0,001	60	0.5	0.4	50	0,1384	0,01	1,4865	0,01	0,2026	2,7279	1
5	0.8	NaN	70	0.9	0.3	50	1,1602	0,0181	0,5752	0,0226	0,2397	0,0435	53
6	0.75	0,01	70	0.5	0.2	50	1,4923	0,0645	1,6069	0,0547	0,187	61,7763	13
7	0.7	NaN	80	0.9	0.1	50	1,8805	0,1076	1,9118	0,095	0,1468	167,6364	71
8	0.65	0,05	80	0.5	0.8	50	0,2065	0,9087	0,6305	0,0217	0,2026	0,6458	36
9	0.6	NaN	90	0.9	0.9	50	1,9358	0,1384	1,3852	0,5235	0,01	6,5345	3
10	0.5	0,1	90	0.5	1.0	50	0,1014	0,9554	0,5469	0,0197	0,2	0,0111	71

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian percobaan yang disesuaikan dengan skenario-skenario yang telah ditetapkan, maka penyelesaian solusi optimal parameter motor DC Shunt dengan menggunakan metode ALGEN dapat disimpulkan proses penyelesaian solusi optimal dengan menggunakan ALGEN sudah berjalan sesuai dengan perencanaan program Matlab dengan solusi terbaik diperoleh pada skenario pengujian #1 yaitu dengan nilai MSE 0.0061.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Genetic Server and Genetic Library*, www.neurodimension.com
- [2] Graham D, *Tunning PID Controller Based on a Genetic Algorithm*, Tran of AIEEE, 72
- [3] Davis, Lawrence, *Hand Book of Genetic Algorithm*, Van Nostrand Reinhold, Newyork, 1991
- [4] Craigh, William , *Electric Machinery's Theory and Implementation*, McGraw-Hill Company
- [5] Krause, Paul, *Analysis of Electric Machinery*, McGraw-ill Company
- [6] Golberg, David, *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company.
- [7] Priyatmadi, *Estimasi Adpatif Parameter Motor DC*, Proceedings SSTE II-UNDIP
- [8] Boltwazk, Antonio, *Implementation DC Motor in Traction Application*, McGraw-Hill Company
- [9] Amstrong KJ, *Adaptive Control*, Addison-Wesley Massachusetts