

Identifikasi Parameter Adaptif Motor Arus Searah Penguat Terpisah Menggunakan Algoritma LMS

Nia Saputri Utami^{1*}, Imroatul Hudati²,

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera; nia.utami@el.itera.ac.id

²Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; imroatul.hudati@mail.ugm.ac.id

*Korespondensi: nia.utami@el.itera.ac.id

Abstract – An adaptive control system is a system which can adapt with the changes around its environment. It is usually used to identification the parameters of the system. A separated excited DC motor has different voltage source between the armature and the flux. The parameter of the separated excited DC motor was used to get continous transfer function. Then, the continous transfer function is converted to a discrete transfer function to get the differensial equation. Coeffisien of the differensial equation has been used as target during the iteration process on simulation of least mean square algorithm with input $x_k = \text{rand}(1,n)$, sample $N=1000$ and convergence size $\mu=0.05$. In this article, the purpose of simulation is to finding out the best weight, number of iterations, and convergences rates that are suitable for the model. The actual weights of $w_1=0.01566$ and $w_2=0.0003107$. Furthermore, the best weight had been achieved during the iteration process are $w_1=0.015659$ and $w_2=0.00031161$. It has an error value of 0.00000042928 and MSE (mean square error) value 0.000000000016.

Keywords – adaptive control system, LMS alghoritm, MATLAB, separated-excited DC Motor

Intisari – Sistem kendali adaptif merupakan suatu sistem yang mampu menyesuaikan dirinya terhadap perubahan yang terjadi di lingkungan sekitarnya (beradaptasi). Salah satu pemanfaatan sistem kendali adaptif adalah untuk identifikasi parameter sistem. Motor arus searah penguat terpisah merupakan jenis motor searah yang sumber tegangan jangkar dan tegangan medannya dipasang terpisah. Parameter motor searah penguat terpisah digunakan dalam pemodelan untuk mendapatkan fungsi alih. Dari fungsi alih kontinu kemudian diubah ke dalam bentuk fungsi alih diskrit untuk memperoleh persamaan diferensial diskritnya. Selanjutnya koefisien dari persamaan diferensial tersebut dijadikan sebagai target yang ingin dicapai selama proses iterasi berlangsung pada simulasi algoritma *least mean square* dengan input $x_k = \text{rand}(1,n)$, jumlah sampel sebanyak 1000 dan laju konvergensi sebesar 0,05. Pada artikel ini, simulasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bobot terbaik, jumlah iterasi dan laju konvergensi yang sesuai untuk pemodelan. Parameter Adaptif yang akan diidentifikasi berupa bobot dari pemodelan adaptif yang dibuat dan hasilnya dibandingkan dengan perhitungan fungsi alih diskrit sebenarnya. Bobot w_1 yang ingin dicapai dalam proses iterasi yaitu 0,01566 dan bobot $w_2=0,0003107$. Hasil terbaik yang dapat dicapai dalam proses iterasi yaitu $w_1=0,015659$ dan $w_2=0,00031161$ dengan eror sebesar 0,00000042928 serta nilai MSE (*mean square error*) sebesar 0,000000000016.

Kata kunci – sistem kendali adaptif, algoritma LMS, MATLAB, motor arus searah penguat terpisah

I. PENDAHULUAN

Sistem kendali adaptif banyak sekali digunakan di dunia industri maupun berbagai macam penelitian. Hal ini dikarenakan kemampuannya dalam beradaptasi langsung terhadap perubahan yang terjadi di sekitarnya. Beberapa industri yang menggunakan kendali adaptif antara lain yaitu industri penerbangan, pengolahan bahan kimia, dan industri pembuatan kertas [1]. Salah satu pemanfaatan sistem kendali adaptif yaitu untuk identifikasi parameter sistem dengan menggunakan berbagai macam metode adaptif seperti algoritma *least mean square* (LMS), *root mean square* (RMS), serta *adaptif linear combiner* (ALC). Sementara itu, untuk algoritma LMS banyak digunakan oleh peneliti sebagai filter adaptif karena memiliki sifat yang *robust*, mudah diimplementasikan serta perhitungannya yang cukup sederhana [2]. Namun, algoritma LMS juga banyak digunakan untuk identifikasi parameter suatu plant dan sebagai *noise cancelling* [3]–[5]. Sukarman [6] telah melakukan simulasi identifikasi parameter pada plant orde dua menggunakan algoritma LMS dengan memperoleh hasil penelitian yang menunjukkan bahwa nilai *mean square error* (MSE) semakin mengecil dengan bertambahnya jumlah iterasi sedangkan nilai bobot (parameter adaptif) dicapai setelah iterasi ke 600. Seiring dengan perkembangan zaman, algoritma LMS untuk identifikasi parameter sistem telah

mengalami banyak perkembangan. Penelitian [7] menggunakan algoritma *combination least mean square* (CLMS) dengan memodifikasi setiap bobot filter adaptif untuk proses identifikasi parameter sistem. Metode ini menggabungkan filter LMS cepat dan filter LMS lambat untuk mengatasi permasalahan laju konvergensi yang merupakan salah satu kelemahan dari algoritma LMS. Penelitian [8], menggunakan tiga metode yaitu algoritma LMS, *normalized least mean square* (NLMS), dan *recursive least square* (RLS) untuk mengidentifikasi sistem yang tidak diketahui. Sementara itu, implementasi identifikasi sistem dengan menggunakan algoritma LMS dasar dilakukan oleh [9], dengan menggunakan dua laju konvergensi yang berbeda yaitu 0,05 dan 0,025. Kemudian, hasil simulasi dengan jelas menunjukkan bahwa bobot estimasi sama dengan bobot yang sebenarnya. Di samping itu, [10] juga melakukan identifikasi parameter sistem yang tidak diketahui menggunakan algoritma LMS. *Plant* diasumsikan sebagai model linear yang kemudian diberi masukan sinyal acak, kemudian setelah disimulasikan dengan dua laju konvergensi yaitu 0,3 dan 0,15, diperoleh hasil penelitian bahwa bobot yang di estimasi sesuai dengan bobot yang sebenarnya.

Pada artikel ini akan dilakukan simulasi kendali adaptif untuk mengidentifikasi parameter motor arus searah penguat terpisah menggunakan algoritma LMS dasar, di mana

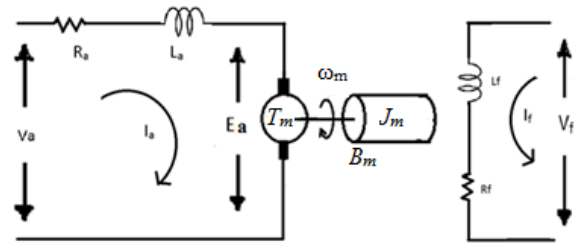
parameter dari motor tersebut sudah diketahui. Simulasi bertujuan untuk mengetahui jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai bobot yang diinginkan serta untuk mengetahui pengaruh nilai laju konvergensi terhadap kecepatan dan kestabilan grafik bobot selama proses adaptasi. Adapun pokok bahasan artikel ini yaitu model matematis motor arus searah penguat terpisah, algoritma LMS, blok diagram adaptif untuk identifikasi sistem, dan hasil simulasi pada MATLAB.

II. METODOLOGI

Dalam sistem kendali, salah satu komponen yang tidak dapat dilupakan adalah aktuator. Aktuator ini merupakan komponen yang selalu bergerak mengubah energi listrik menjadi pergerakan mekanik [11]. Salah satu aktuator yang banyak digunakan adalah motor listrik [12]. Kegunaan motor listrik yaitu sebagai perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik [13]. Motor listrik itu sendiri terdiri atas motor arus searah (*direct current*) dan motor arus bolak-balik (*alternating current*), tergantung dari sumber dayanya [14]. Motor arus searah memerlukan sumber tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Motor arus searah terdiri dari dua jenis yaitu motor arus searah penguat terpisah (*separately excited*) yaitu motor arus searah yang arus medannya dipasok dari sumber penguat terpisah. Jenis lainnya adalah motor arus searah penguat sendiri (*self excited*) yang terdiri atas tiga tipe yaitu motor arus searah *shunt*, motor arus searah seri, dan motor arus searah kompon atau gabungan. Motor arus searah penguat terpisah adalah salah satu jenis motor arus searah yang penguatannya terpisah, yang artinya pada motor ini memiliki sumber tegangan yang berbeda antara medan jangkar dan medan penguatnya [15]. Gambar 1 merupakan rangkaian ekuivalen dari motor arus searah penguat terpisah yang dilengkapi dengan parameter-parameternya seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter motor arus searah penguat terpisah

Parameter	Keterangan
V_a	tegangan jangkar merupakan tegangan yang diberikan kepada kumparan jangkar
R_a	resistansi jangkar
L_a	induktansi jangkar
E_a	gaya gerak listrik (ggl) balik yang dihasilkan oleh kumparan jangkar
I_a	arus jangkar
V_f	tegangan medan merupakan tegangan yang diberikan kepada kumparan medan.
L_f	induktansi medan
R_f	resistansi medan
I_f	arus medan
ω_m	kecepatan sudut putar motor
J_m	momen inersia
B_m	koefisien gesek
T_m	torsi motor



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen motor arus searah penguat terpisah[16]

Pada artikel ini, algoritma LMS digunakan untuk identifikasi sistem dari parameter adaptif suatu *plant* yaitu berupa bobot w_k dengan jenis masukan tunggal dari struktur umum ALC. Suatu tapis (*filter*) adaptif terdiri dari dua elemen dasar yaitu tapis digital dan algoritma adaptif. Tapis digital berfungsi untuk melakukan proses yang dikehendaki yaitu memperoleh keluaran sebagai respons dari masukan yang diberikan, sedangkan algoritma adaptif berfungsi untuk menyesuaikan nilai koefisien tapis digital dengan cara meminimalkan galat (*error*). Gambar 2 menunjukkan bentuk umum dari ALC yang memiliki sinyal masukan dengan notasi x_{1k}, x_{2k} dan x_{Lk} , sedangkan w_{1k}, w_{2k} dan w_{Lk} adalah bobot. Sementara itu, d_k merupakan keluaran yang dikehendaki, sedangkan y_k merupakan sinyal keluaran dari tapis.

Sinyal masukan terdiri dari dua macam yaitu masukan tunggal dan masukan jamak. Maka hubungan antara sinyal masukan dan sinyal keluaran tapis seperti pada (1).

$$y_k = w_k^T x_k = x_k^T w_k \quad (1)$$

Sedangkan galat (e_k) merupakan hasil pengurangan antara keluaran yang diinginkan dengan keluaran tapis, seperti pada (2).

$$e_k = d_k - y_k \quad (2)$$

Pada proses pengadaptasian dengan umpan balik, nilai vektor bobot diperoleh secara rekursif atau berulang-ulang sehingga galat yang diperoleh sekecil mungkin. Algoritma LMS mendapatkan koefisien tapis dengan membuat galat kuadrat rata-rata yang minimum yang disebut sebagai MSE (*mean square error*). Jika e_k dikuadratkan maka diperoleh (3)-(5). Dengan $y_k = x_k^T w_k = w_k^T x_k$, sehingga didapatkan (6).

$$e_k^2 = (d_k - y_k)^2 \quad (3)$$

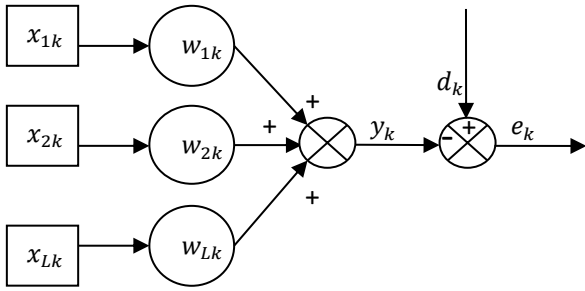
$$e_k^2 = d_k^2 - 2 d_k y_k + y_k^2 \quad (4)$$

$$e_k^2 = d_k^2 + y_k^2 - 2 d_k y_k \quad (5)$$

$$e_k^2 = d_k^2 + w_k^T x_k \cdot x_k^T w_k - 2 d_k w_k^T x_k \quad (6)$$

Maka dari itu, nilai ekspektasi (nilai terharap) dari (6) ditunjukkan pada (7).

$$\xi = E[e_k^2] \\ \xi = E[d_k^2] + w_k^T E[x_k x_k^T] w_k - 2 E[d_k x_k^T] w_k \quad (7)$$



Gambar 2. Bentuk umum ALC

Pada kebanyakan proses adaptasi, yang menentukan vektor bobot untuk dapat mencari error seminimal mungkin adalah dengan menggunakan metode gradien (∇), seperti pada (8).

$$\nabla = \frac{\partial \xi}{\partial w} = \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial w_0} \quad \frac{\partial \xi}{\partial w_1} \quad \dots \quad \frac{\partial \xi}{\partial w_L} \right\} \quad (8)$$

Sedangkan untuk menghitung bobot baru yaitu bobot lama (w_k) ditambah dengan korelasi yang proporsional dengan nilai negatif dari gradien *squared error* pada bobot baru, yang ditunjukkan pada (9).

$$\begin{aligned} w_{k+1} &= w_k + \mu(-\nabla k) \\ w_{k+1} &= w_k - \mu \nabla k \end{aligned} \quad (9)$$

Dengan μ adalah laju peradaptasian atau laju konvergensi dengan nilai $0 < \mu < 1$. Estimasi gradien $\xi = E[e_k^2]$ ditentukan dengan menggunakan e_k^2 secara langsung, seperti di (10). Sehingga bobot baru yang diperoleh pada (11).

$$\nabla k = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_k^2}{\partial w_0} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_k^2}{\partial w_L} \end{bmatrix} = 2e \begin{bmatrix} \frac{\partial e_k}{\partial w_0} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_k}{\partial w_L} \end{bmatrix} = -2e_k \quad (10)$$

$$\begin{aligned} w_{k+1} &= w_k - \mu \nabla k \\ w_{k+1} &= w_k + 2\mu e_k x_k \end{aligned} \quad (11)$$

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Membuat pemodelan matematis motor arus searah penguat terpisah [16].

Gambar 1 merupakan rangkaian ekuivalen motor arus searah penguat terpisah yang dilengkapi dengan parameter-parameternya seperti Tabel 1. Persamaan (12) dan (13) merupakan persamaan untuk torsi motor dan tegangan ggl balik.

$$T_m = K_f I_f I_a \quad (12)$$

$$E_a = K_f i_f \omega_m \quad (13)$$

Jika i_f konstan dan K_m merupakan konstanta pengganti dari $K_f i_f$, maka persamaan dapat diubah menjadi (14)-(17).

$$T_m = K_m i_a \quad (14)$$

$$T_m(s) = K_m I_a(s) \quad (15)$$

$$E_a = K_m \omega_m \quad (16)$$

$$E_a(s) = K_m \omega_m(s) \quad (17)$$

Sehingga persamaan tegangan masukan motor menjadi seperti pada (18) dan (19).

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E_a \quad (18)$$

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_m \omega_m \quad (19)$$

Persamaan (19) kemudian diubah ke dalam bentuk persamaan Laplace sehingga diperoleh (20) dan (21).

$$\begin{aligned} V_a(s) &= R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) + K_m \Omega_m(s) \\ R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) &= V_a(s) - K_m \Omega_m(s) \\ I_a(s)(R_a + L_a s) &= V_a(s) - K_m \Omega_m(s) \end{aligned} \quad (20)$$

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - K_m \Omega_m(s)}{(R_a + L_a s)} \quad (21)$$

Persamaan (22) merupakan persamaan dinamik motor arus searah penguat terpisah yang berkaitan dengan momen inersia dan koefisien gesekan.

$$T_m = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \omega_m + T_{Lm} w_{k+1} \quad (22)$$

Dengan $T_{Lm} = 0$ dan $T_m = K_m i_a$, maka (22) menjadi (23).

$$T_m = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \omega_m \quad (23)$$

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \omega_m = K_m i_a$$

Persamaan (23) kemudian di-laplace-kan sehingga diperoleh persamaan kecepatan, seperti pada (24).

$$\begin{aligned} J_m s \Omega_m(s) + B_m \Omega_m(s) &= K_m I_a(s) \\ (J_m s + B_m) \Omega_m(s) &= K_m I_a(s) \\ \Omega_m(s) &= \frac{K_m I_a(s)}{(J_m s + B_m)} \end{aligned} \quad (24)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan arus ke dalam persamaan kecepatan diperoleh (25).

$$\begin{aligned} \Omega_m(s) &= \frac{K_m I_a(s)}{(J_m s + B_m)} \\ \Omega_m(s) &= \frac{K_m \left(\frac{V_a(s) - K_m \Omega_m(s)}{(R_a + L_a s)} \right)}{(J_m s + B_m)} \\ \Omega_m(s) &= \frac{K_m V_a(s) - K_m^2 \Omega_m(s)}{(R_a + L_a s)(J_m s + B_m)} \\ \Omega_m(s)(R_a + L_a s)(J_m s + B_m) &= K_m V_a(s) - K_m^2 \Omega_m(s) \\ \Omega_m(s) \{ (R_a + L_a s)(J_m s + B_m) + K_m^2 \} &= K_m V_a(s) \end{aligned} \quad (25)$$

Dengan demikian, fungsi alih motor arus searah penguat terpisah dapat dituliskan sebagai (26).

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(L_a s + R_a)(J_m s + B_m) + K_m^2} \quad (26)$$

Berdasarkan penurunan beberapa persamaan di atas, maka blok diagram dari motor arus searah penguat terpisah seperti pada Gambar 3.

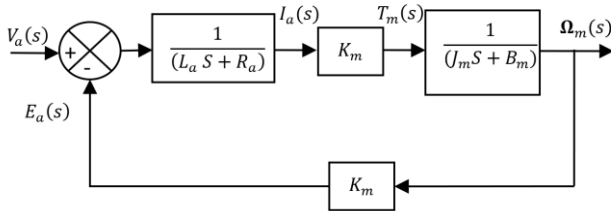
- Mengambil dan mengumpulkan data parameter motor arus searah penguat terpisah.

Motor arus searah penguat terpisah yang digunakan dalam penelitian yaitu motor arus searah pabrikan dari Lucas Nuelle (Jerman) dengan tipe SE 2662-5D yang memiliki beberapa parameter pada *name plate* seperti pada Tabel 2.

Selain itu, pengukuran secara langsung terhadap resistansi jangkar (R_a) dan Induktansi jangkar (L_a) juga dilakukan dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 3. Kemudian, untuk mendapatkan parameter-parameter lain yang belum ada, maka dilakukan perhitungan seperti pada (26) – (31).

- Menyubstitusikan data parameter motor arus searah penguat terpisah yang telah diperoleh ke dalam fungsi alih dari pemodelan motor arus searah penguat terpisah yang telah dibuat sebelumnya.

Berdasarkan data-data pada Tabel 2, maka fungsi alih dari motor arus searah penguat terpisah diperoleh dengan menyubstitusikan data parameter-parameter ke (26) sehingga diperoleh (33).



Gambar 3. Blok diagram motor arus searah penguat terpisah

Tabel 2. Parameter pada *name plate*

Parameter	Nilai
Tegangan Nominal	220 V
Arus Nominal	5,7/6,2/5,8 A
Kecepatan Nominal	2040/1650/1870 RPM
Daya Nominal	1000 watt

Tabel 3. Hasil pengukuran resistansi dan induktansi jangkar

Parameter	Nilai
Resistansi jangkar	46,4 Ω
Induktansi jangkar	0,09506 H

$$\omega_{nom} = 2040 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 213,52 \text{ rad/s} \quad (27)$$

$$T_{nom} = \frac{P_{nom}}{\omega_{nom}} = \frac{1000 \text{ watt}}{213,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 4,683 \text{ Nm} \quad (28)$$

$$\alpha_{nom} = \frac{\omega_{nom}}{t} = \frac{213,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{5 \text{ s}} = 42,74 \text{ rad/s}^2 \quad (29)$$

$$B_m = \frac{T_{nom}}{\omega_{nom}} = \frac{4,68 \text{ N.M}}{213,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,022 \text{ Kg m}^2 \quad (30)$$

$$K_m = \frac{T_{nom}}{I_{nom}} = \frac{4,68 \text{ N.M}}{5,7 \text{ Amp}} = 0,821 \text{ Nm/Amp} \quad (31)$$

$$J_m = \frac{4,68 \text{ N.M}}{42,74 \text{ rad/s}^2} = 0,1,9 \text{ Kg m}^2 \quad (32)$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(L_a s + R_a)(J_m s + B_m) + K_m^2}$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{0,821}{(0,09506 s + 46,4)(0,109 s + 0,022) + 0,821^2}$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{0,821}{(0,0104 s^2 + 0,0021 s + 5,0576 s + 1,0208) + 0,6740} \quad (33)$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{0,821}{0,0104 s^2 + 5,0597 s + 1,6948}$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{V_a(s)} = \frac{0,821}{0,010 s^2 + 5,060 s + 1,695}$$

- Membuat pemodelan sistem adaptif yang akan digunakan. Persamaan (33) diubah menjadi fungsi alih diskrit menggunakan MATLAB sehingga diperoleh (34)-(35).

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0,01566 z^{-1} + 0,0003107 z^{-2}}{1 - 0,967 z^{-1}} \quad (34)$$

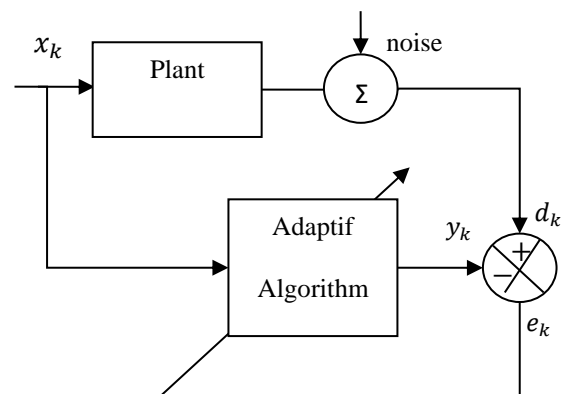
$$Y(z) - 0,967 z^{-1} Y(z) = 0,01566 z^{-1} X(z) + 0,0003107 z^{-2} X(z)$$

$$y(k) - 0,967 y(k-1) = 0,01566 x(k-1) + 0,0003107 x(k-2) \quad (35)$$

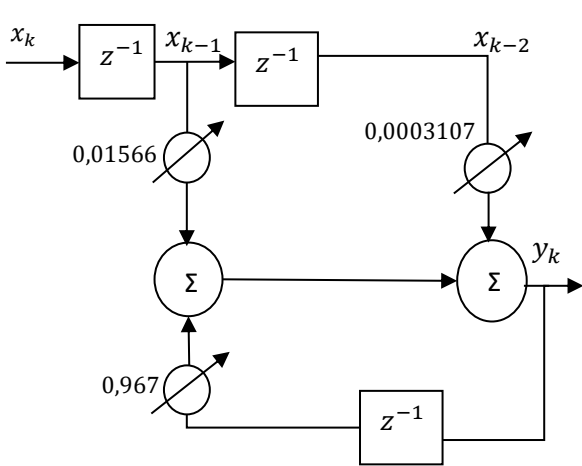
$$y(k) = 0,01566 x(k-1) + 0,0003107 x(k-2) + 0,967 y(k-1)$$

Dengan y_k merupakan hasil perkalian dari masukan x_k dengan bobot w_k , maka berdasarkan (1), persamaan keluaran dari motor arus searah penguat terpisah yang akan dijadikan acuan dalam algoritma LMS yaitu (35). Maka, blok diagram model adaptif untuk identifikasi sistem serta blok diagram persamaan diskrit dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Agar memudahkan proses pembuatan kode program dari algoritma LMS yang digunakan, maka dibuatlah diagram alir untuk identifikasi parameter adaptif (bobot w_k) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

- Membuat program algoritma LMS menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan menyubstitusikan koefisien hasil perhitungan persamaan keluaran sistem.
- Menyimulasi algoritma LMS.
- Menganalisis hasil simulasi algoritma LMS yang digunakan dalam identifikasi parameter adaptif.



Gambar 5. Blok diagram model adaptif untuk identifikasi



Gambar 6. Blok diagram persamaan diskrit motor arus searah penguat terpisah

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

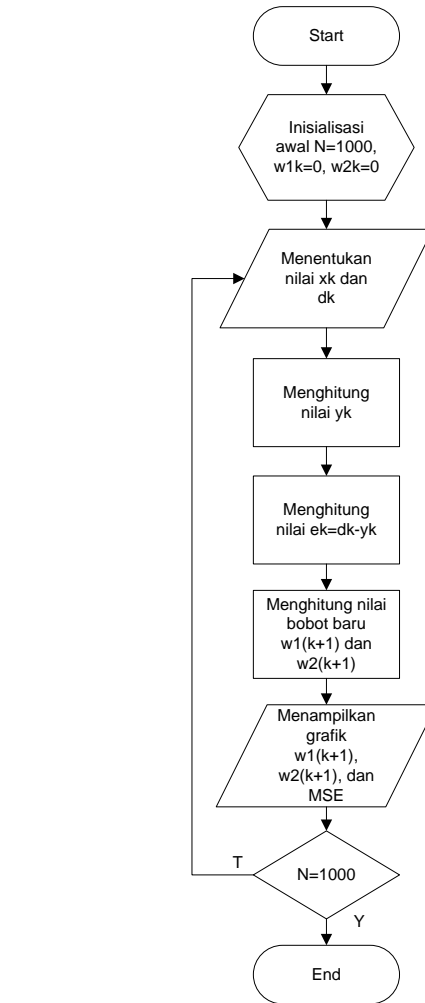
Identifikasi parameter adaptif bobot w_k dilakukan secara simulasi menggunakan MATLAB. Kode program dibuat pada mscript, di mana pada inialisasi awal program, bobot awal w_1 dan w_2 adalah nol dengan jumlah iterasi sebanyak 1000 dan tidak ada *noise*. Nilai w_1 yang ingin dicapai adalah 0,01566 sedangkan nilai w_2 yang ingin dicapai adalah 0,0003107. Laju konvergensi (μ) dalam algoritma LMS merupakan nilai yang mempengaruhi kecepatan dan kestabilan nilai bobot target selama proses adaptasi atau iterasi berlangsung. Adapun nilai laju konvergensi μ yang dianjurkan yaitu antara nol dan satu ($0 < \mu < 1$). Pada artikel ini, nilai laju konvergensi (μ) yang digunakan bervariasi dengan tujuan untuk memperoleh nilai μ yang sesuai. Hasil simulasi berupa grafik bobot yang dicapai dan grafik nilai MSE. Grafik bobot menunjukkan proses adaptasi nilai bobot mulai dari iterasi yang pertama sampai iterasi yang terakhir. Sementara itu, nilai MSE dihitung dengan mengkuadratkan nilai galat seperti pada 3.

A. Laju Konvergensi ($\mu = 0,01$)

Pada pengujian pertama, nilai $\mu = 0,01$ sehingga diperoleh hasil grafik bobot seperti pada Gambar 8, dengan jumlah iterasi 1000, nilai bobot w_1 dan w_2 belum mencapai target yang ingin diinginkan. Bahkan grafik sama sekali belum stabil menuju bobot target yang telah ditetapkan. Hal ini mengakibatkan nilai kuadrat galat bernilai cukup besar seperti terlihat pada grafik MSE Gambar 9.

B. Laju Konvergensi ($\mu = 0,05$)

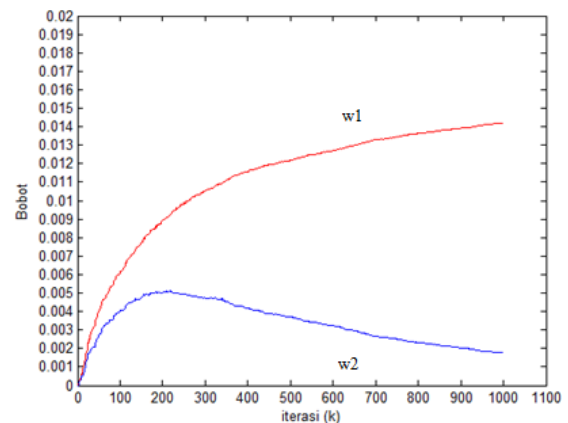
Pada pengujian kedua, nilai μ diubah menjadi 0,05 sehingga diperoleh hasil grafik bobot seperti pada Gambar 10. Jumlah iterasi yang digunakan masih sama yaitu 1000, diperoleh hasil nilai bobot w_1 dan w_2 yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan pengujian pertama. Sementara itu, nilai galat bernilai lebih kecil dari pengujian pertama seperti yang terlihat pada grafik MSE Gambar 11.



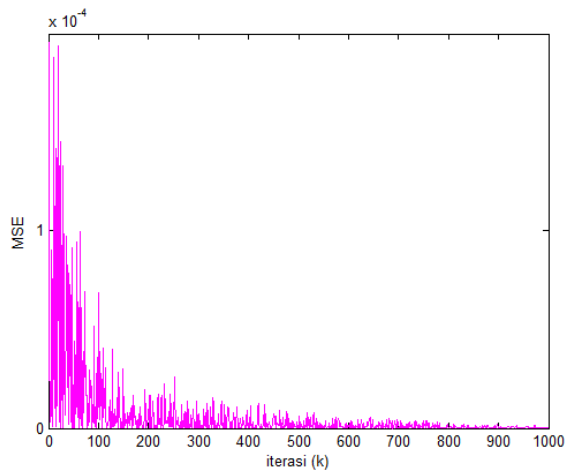
Gambar 7. Flowchart identifikasi sistem adaptif

C. Laju Konvergensi ($\mu = 0,09$)

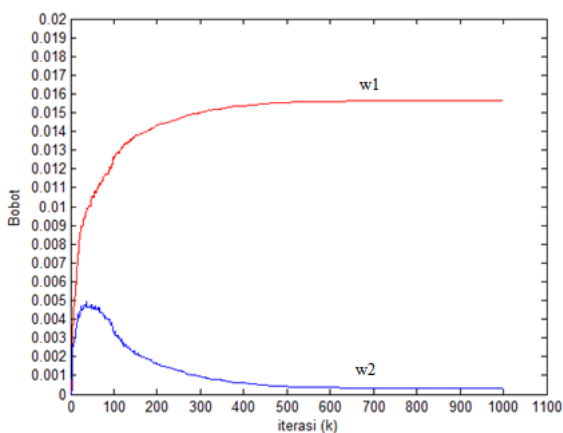
Pada pengujian ketiga, nilai μ diubah menjadi 0,09 sehingga diperoleh hasil grafik seperti pada Gambar 12 yang menunjukkan bahwa nilai bobot w_1 dan w_2 jauh lebih cepat mencapai nilai yang diharapkan dibandingkan dengan kedua pengujian sebelumnya. Grafik MSE menunjukkan nilai galat yang sangat kecil atau mencapai nilai minimumnya seperti pada Gambar 13.



Gambar 8. Tampilan grafik w_1 dan w_2 dengan $\mu = 0.01$



Gambar 9. Tampilan grafik MSE dengan $\mu = 0.01$



Gambar 10. Tampilan grafik w_1 dan w_2 dengan $\mu = 0.05$

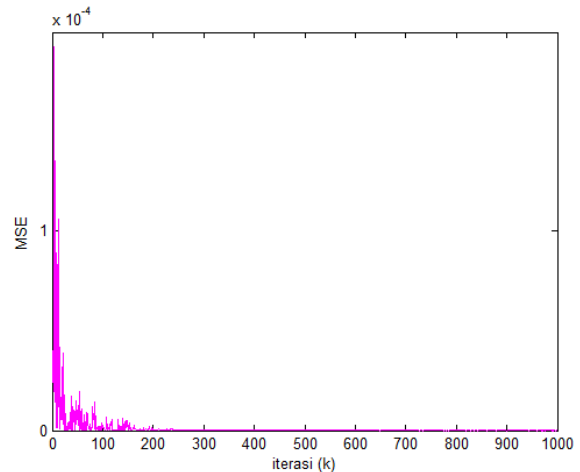
D. Laju Konvergensi ($\mu = 0,5$)

Pada pengujian keempat, nilai μ diubah menjadi 0,5 sehingga diperoleh hasil grafik seperti pada Gambar 14, dimana nilai bobot w_1 dan w_2 lebih stabil dibandingkan dengan percobaan pertama. Sementara itu, nilai galat bernilai cukup besar seperti terlihat pada Gambar 15. Nilai bobot w yang diharapkan mulai tercapai pada iterasi ke 650. Garis warna merah merupakan bobot w_1 dan garis berwarna biru merupakan bobot w_2 . Berdasarkan hasil identifikasi bobot w_1 lebih cepat mencapai target nilai yang diharapkan dibandingkan dengan w_2 , hal ini terjadi karena nilai bobot w_1 jauh lebih besar dari w_2 , sehingga proses adaptasinya lebih cepat. Bobot w_1 telah mencapai nilai terbaik dan paling mendekati dengan nilai sebenarnya pada iterasi ke 960, sedangkan bobot w_2 mencapai nilai terbaik pada iterasi ke 1000. Adapun untuk mengetahui nilai eror antara nilai bobot yang sebenarnya dengan bobot hasil identifikasi dengan algoritma LMS, maka diambil data hasil iterasi ke 1000 dimana nilai kedua bobot telah mencapai hasil terbaik mendekati nilai yang sebenarnya yaitu $w_1 = 0,0156$ dan $w_2 = 0,0003107$ dengan nilai galat sebesar 0,00000042928. Sementara itu, nilai MSE yang diperoleh cukup kecil yaitu 0,000000000016. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki selisih nilai bobot yang sangat kecil dan bahkan

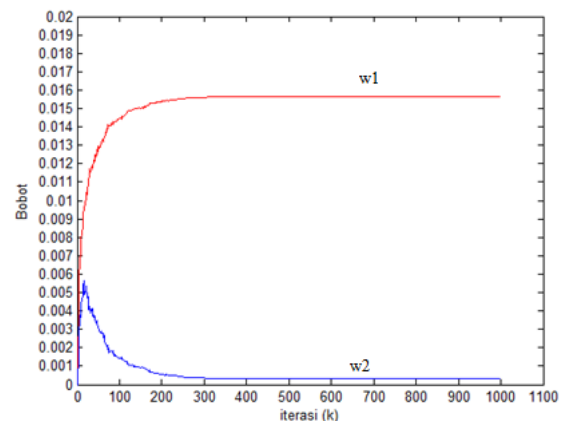
mendekati sama dengan nilai bobot yang sebenarnya seperti yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan nilai bobot aktual dan hasil Identifikasi

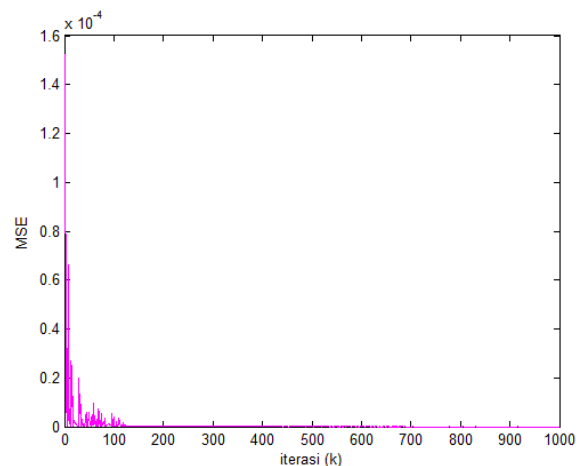
Bobot	Aktual	Simulasi	MSE
w_1	0,01566	0,015659	0,0000000000016
w_2	0,0003107	0,00031161	



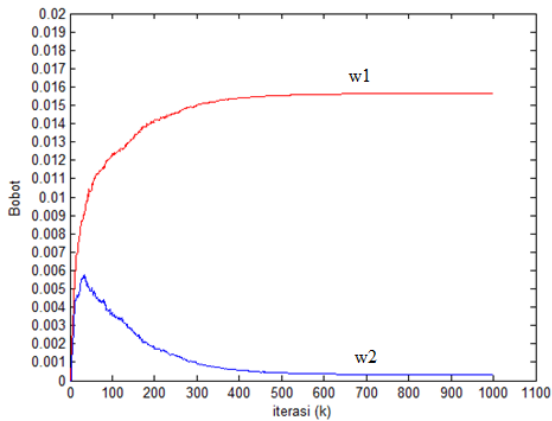
Gambar 11. Tampilan grafik MSE dengan $\mu = 0.05$



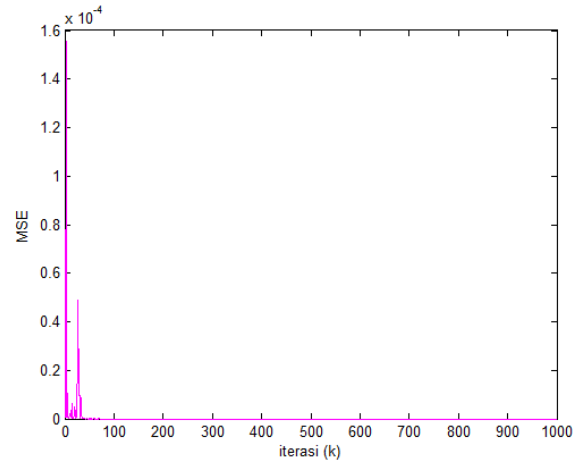
Gambar 12. Tampilan grafik w_1 dan w_2 dengan $\mu = 0.09$



Gambar 13. Grafik MSE dengan $\mu = 0.09$



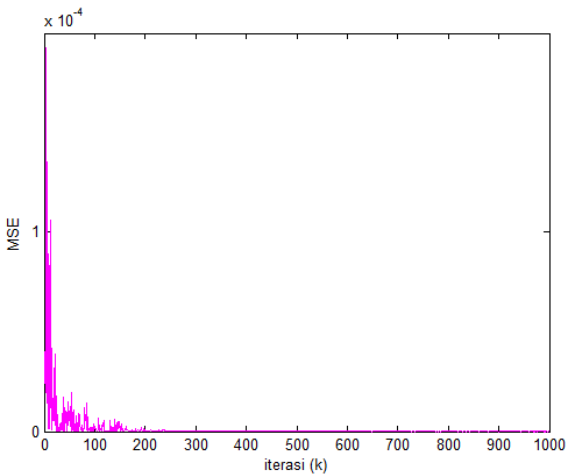
Gambar 14. Tampilan grafik w_1 dan w_2 dengan $\mu = 0,5$



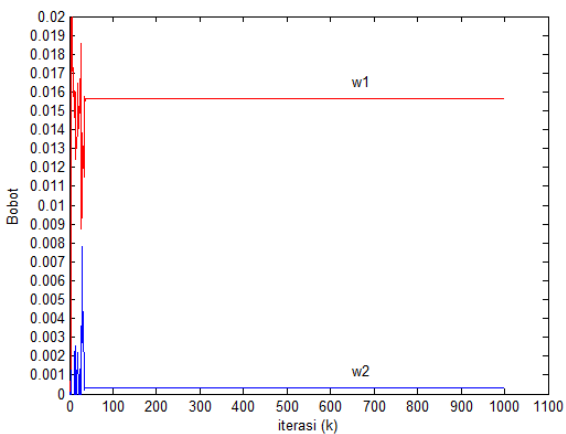
Gambar 15. Grafik MSE dengan $\mu = 1$

E. Laju Konvergensi ($\mu = 1$)

Pada pengujian kelima, nilai $\mu = 1$ dan diperoleh hasil grafik seperti pada Gambar 16, dimana terlihat osilasi pada awal respon grafik setelah itu grafik langsung menuju stabil. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi proses pembelajaran dan adaptasi pada bobot.



Gambar 15. Grafik MSE dengan $\mu = 0.05$



Gambar 16. Tampilan grafik w_1 dan w_2 dengan $\mu = 1$

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dibuat, disimulasi dan, maka dapat di ambil kesimpulan bahwa bobot terbaik yang dapat dicapai dalam proses adaptasi parameter adaptif menggunakan algoritma LMS yaitu $w_1 = 0.015659$ dan $w_2 = 0.00031161$ dengan nilai MSE sebesar 0,000000000016. Sementara itu, pemilihan nilai μ yang sesuai akan berpengaruh pada waktu proses adaptasi. Pada artikel ini, nilai μ yang sesuai yaitu 0,5 dimana bobot terbaik dicapai pada iterasi ke 960. Selain itu, nilai μ juga berpengaruh terhadap grafik MSE, semakin besar nilai laju konvergensi (μ) maka akan semakin kecil nilai MSE dan begitu pula sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. A. Samman, *Sistem Kendali Adaptif Lembaga Sains, Teknologi dan Seni*. 2016. Accessed: Jul. 02, 2023. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/132584477.pdf>
- [2] B. Widrow and M. E. Hoff, *Adaptive switching circuits*. 1960.
- [3] S. Haykin, *Adaptive filter theory*. 2002.
- [4] Q. Ling, M. A. Ikbali, and P. Kumar, "Optimized LMS algorithm for system identification and noise cancellation," *Journal of Intelligent Systems*, vol. 30, no. 1, pp. 487–498, Jan. 2021, doi: 10.1515/jisys-2020-0081.
- [5] A. K. Maurya, P. Agrawal, and S. Dixit, "Modified Model and Algorithm of LMS Adaptive Filter for Noise Cancellation," *Circuits Syst Signal Process*, vol. 38, no. 5, pp. 2351–2368, May 2019, doi: 10.1007/s00034-018-0952-z.
- [6] S. Tinggi, T. Nuklir-Batan, and J. B. Kotak, "Seminar Nasional Iv Sdm Teknologi Nuklir Simulasi Kendali Adaptif Menggunakan Algoritma Lms Untuk Identifikasi Plant Orde-2 Sukarman".
- [7] J. Arenas-Garcia, V. Gomez-Verdejo, M. Martinez-Ramon, and A. R. Figueiras-Vidal, "Separate-variable adaptive combination of LMS adaptive filters for plant identification," in *2003 IEEE XIII Workshop on Neural Networks for Signal Processing (IEEE Cat. No.03TH8718)*, IEEE, pp. 239–248. doi: 10.1109/NNSP.2003.1318023.
- [8] S. A. Ghauri and M. F. Sohail, "System identification using LMS, NLMS and RLS," in *2013 IEEE Student Conference on Research and Development*, IEEE, Dec. 2013, pp. 65–69. doi: 10.1109/SCORED.2013.7002542.
- [9] S. R. Prasad and S. A. Patil, "Implementation of LMS Algorithm for System Identification."
- [10] S. R. Prasad and Y. V. Joshi, "Unknown System Identification using LMS Algorithm," 2016.

- [11] I. Oktariawan, Martinus, and Sugiyanto, "Pembuatan Sistem Otomasi Dispenser Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560".
- [12] M. Firdana and D. H. Ananta, "Pembuatan Trainer Motor DC Sebagai Media Pembelajaran Aktuator Dengan Menggunakan Mikrokontroler Atmega328," *Edu Elektrika Journal*, vol. 9, no. 1, p. 2020.
- [13] M. Afnan *et al.*, "TEKNO Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan Implementasi Penggerak Elektronika Sederhana Sebagai Upaya Meningkatkan Respon Waktu Motor Listrik DC," 2021. [Online]. Available: <http://journal2.um.ac.id/index.php/tekno>
- [14] T. A. Zarma, A. A. Galadima, and M. A. Aminu, "Review of Motors for Electrical Vehicles," *J Sci Res Rep*, pp. 1–6, Oct. 2019, doi: 10.9734/jsrr/2019/v24i630170.
- [15] S. N. Al-Bargothi, G. M. Qaryouti, and Q. M. Jaber, "Speed control of DC motor using conventional and adaptive PID controllers," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 16, no. 3, pp. 1221–1228, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1221-1228.
- [16] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2021 IEEE MI-SAT: 2021 IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA2021): conference proceeding: 25-27 May, Tripoli, Libya.*