

## IDENTIFIKASI PARAMETER SISTEM AKTUATOR DARI SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI SUMBER ELEKTRON

Budi Santosa, Taxwim, Eko Priyono, Saminto

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

### ABSTRAK

IDENTIFIKASI PARAMETER DARI SISTEM AKTUATOR PADA SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI SUMBER ELEKTRON. Telah dilakukan identifikasi parameter terhadap sistem aktuator pengendali sumber elektron MBE, menggunakan algoritma rekursi kwadrat terkecil (recursion least square). Sistem aktuator terdiri atas motor DC dilengkapi dengan sistem driver motor DC, sedangkan sistem akuisisi data menggunakan transmisi serat optis. Hal tersebut dilakukan untuk melindungi perangkat PC dari gangguan tegangan ekstra tinggi sistem pemercepat elektron. Didalam melakukan identifikasi, parameter sistem (riil dan model) diberi sinyal masukan PRBS, kemudian sinyal keluaran masing-masing sistem dibandingkan dan diperoleh sinyal kesalahan (error). Pada algoritma rekursi kwadrat terkecil, sinyal kesalahan tersebut merupakan salah satu komponen dalam melakukan perhitungan penentuan parameter sistem. Dari hasil iterasi diperoleh sebagai berikut : sistem aktuator merupakan sistem orde 1 dengan nilai dari matrik parameter model sebesar  $[-1.0035 \ 0.1689 \ 0.3282]$ . Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa keadaan konvergen sinyal kesalahan tercapai jika antara sinyal keluaran sistem riil dengan model mempunyai harga hampir mendekati, dan dapat dipastikan antara parameter model dengan parameter sistem riil mempunyai harga yang sama. Sedangkan tetapan waktu dari sistem orde 1 yang didapat sebesar 0.34 ms. Nilai tersebut dapat dikatakan jauh diatas nilai tetapan waktu dari sistem elektronik, sehingga dalam perancangan pengendalian catu daya sumber elektron tetapan waktu sistem elektronik dapat diabaikan terhadap sistem aktuator motor DC

### ABSTRACT

IDENTIFICATION PARAMETER OF ACTUATOR SYSTEM AT INSTRUMENTATION AND CONTROL OF THE ELECTRON SOURCE AT ELECTRON BEAM MACHINE. The parameter of actuator system at instrumentation and control of the electron source at electron beam machine have been identified, by using recursion least square algorithm. The actuator consist of DC motor provided with DC motor driver, while the data acquisition system use optical fiber transmission, however it was to be done to protect the PC equipment from disturbance of extra high voltage accelerator system. In the identifying parameter, the real system and model given by PRBS (Pseudo Random Binary Sequences) input signal. The both output (real system and model) will be compared each other, and it was obtained the error signal. In the recursion least square algorithm, the error signal represent one of component in conducting calculation of parameters system determinations. From the result of iteration, it was obtained that : the order polynomial of actuator system represents an order one system, which value of parameter matrix of model observation showed that  $[-1.0035 \ 0.1689 \ 0.3282]$ . From result of observation is showed, that situation of error signal convergent if the both output signal (real system and model) have the value approximate, and it can be concluded that between model with real system have same value. While time constant of order system 1 are 0.34 ms. The value can be told far above time constant value of electronic system, so that in the controller design of electron source power supply, the time constant of electronic system should be neglected to DC motor actuator system.

### PENDAHULUAN

Sumber elektron adalah suatu mesin yang memproduksi elektron terdiri atas filament, lempeng anoda, lempeng katoda, sumber tegangan anoda, dan arus filament. Pengaturan tegangan anoda dan arus filament dilakukan dengan motor DC yang terkopel dengan variak sumber tegangan anoda dan arus filament. Dengan melakukan pengendalian

motor DC tersebut, intensitas dan kestabilan berkas elektron dapat diatur sesuai dengan keinginan operator. Sebagai langkah awal menentukan sistem pengendalian sumber elektron, maka diperlukan pengetahuan perilaku dinamik dari motor DC. Dari hasil kajian beberapa literatur menunjukkan bahwa waktu tanggap motor DC sangat tergantung pada momen inersia gabungan antara beban dan massa armature, dan tetapan gesekan, serta nilai induktansi



dan resistansi dari armature.<sup>(1,2)</sup> Pada sumber tegangan dan arus, waktu tanggap sistem tergantung pada nilai RC dari rangkaian penyearah, yang umumnya lebih cepat dari pada waktu tanggap sistem mekanik seperti motor DC, dan mudah dilakukan modifikasi dari nilai RCnya. Sehingga dalam kasus penyederhanaan sistem kendali sumber elektron dengan menggunakan motor DC, tanggapan dinamik dari sistem dapat diwakili oleh tanggapan dinamik dari motor DC.

Didalam perancangan sistem kendali proses terdapat dua macam metoda yang dapat dilakukan yaitu langsung dan tak langsung. Metoda langsung yaitu sistem diberikan sinyal determinis pada terminal masukannya, dan pada terminal keluaran diamati sinyal keluarannya. Sinyal keluaran merupakan karakteristik dinamik dari sistem, jika sinyal masukan merupakan fungsi undak (*step function*), akan diperoleh karakteristik dinamik berbasis waktu, dan dianalisis dengan analisis tanggapan waktu. Sedangkan untuk sinyal masukan merupakan fungsi sinus dengan nilai frekuensi berubah, akan diperoleh karakteristik dinamik berbasis frekuensi, dan dianalisis dengan analisis tanggapan frekuensi.<sup>(3)</sup> Pada metoda tak langsung sistem proses dimodelkan dalam bentuk persamaan matematik, kemudian perancangan sistem pengendalinya ditentukan berdasarkan optimalisasi dari model yang didapat. Untuk mendapatkan model dari sistem proses dilakukan identifikasi parameter sistem. Adapun metoda yang digunakan adalah rekursi kwadrat terkecil (*recursion least square*).<sup>(4,5,6)</sup> Metoda rekursi kwadrat terkecil merupakan salah satu metoda paling umum digunakan dalam melakukan identifikasi parameter sistem. Hal tersebut dikarenakan algoritma rekursi sederhana dan mudah dipelajari.

Sejalan dengan maksud diatas, dalam makalah ini akan disajikan hasil identifikasi parameter sistem aktuator sistem kendali sumber elektron MBE secara offline. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan ujuk kerja dari sistem aktuator kendali, supaya dapat digunakan untuk menentukan parameter pengendalian sistem, dengan unjuk kerja yang optimal.<sup>(5)</sup>

## TEORI

### Algoritma Rekursi kwadrat Terkecil

Metoda kwadrat terkecil (*least square*) merupakan salah satu metoda paling populer digunakan dalam estimasi parameter sinyal dan sistem. Di dalam pengendalian sumber elektron,

rekursi kwadrat terkecil digunakan untuk menentukan orde polynomial dan mengestimasi parameter model dari sistem aktuator pengendali sumber elektron.

Algoritma adaptasi rekursi kwadrat terkecil diperoleh dari minimisasi fungsi criteria :<sup>(4,5,6)</sup>

$$\min_{\hat{\theta}(t)} (J(t)) = \sum_{i=1}^t [\varepsilon^2(i+1)] \quad (1)$$

terhadap parameter proses  $\hat{\theta}(t) \cdot \varepsilon(t+1)$  merupakan kesalahan prediksi keluaran "posterior"

$$\varepsilon(t+1) = y(t) - \hat{\theta}(t) \phi^T(t-1) \quad (2)$$

Dengan memperhatikan LEMMA hubungan antara matrik regular  $F$  berdimensi  $m \times m$ , dan suatu vektor  $\phi$  dengan dimensi  $m \times 1$ , maka akan diperoleh algoritma rekursi kwadrat terkecil sebagai berikut :

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t) \cdot \phi(t) \cdot \varepsilon(t+1) \quad (3)$$

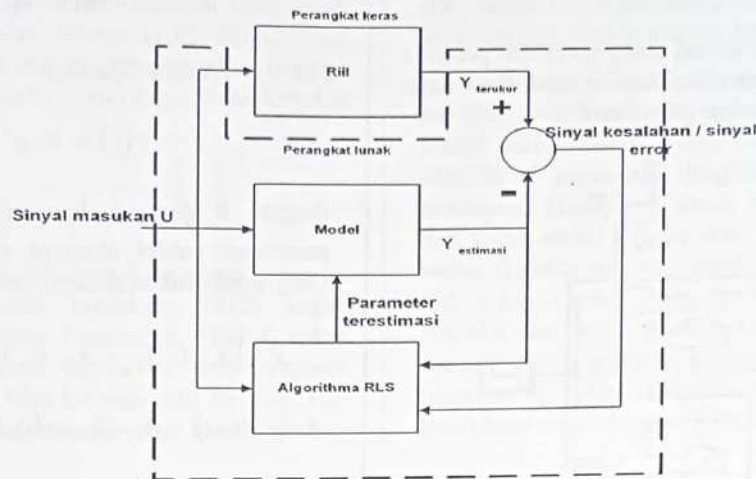
$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t) \cdot \phi^T(t) \cdot F(t)}{1 + \phi^T(t) \cdot F(t) \cdot \phi(t)} \quad (4)$$

Sedangkan hubungan antara kesalahan 'posterior' terhadap kesalahan prediksi 'apriori' dinyatakan sebagai.

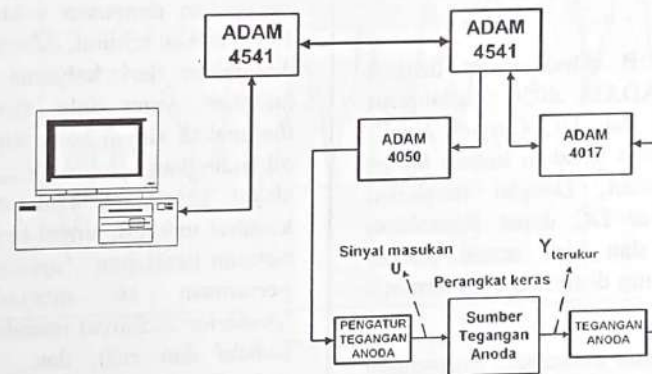
$$\varepsilon(t+1) = \frac{\varepsilon_a(t+1)}{1 + \phi^T(t) F(t) \phi(t)} \quad (5)$$

## TATA KERJA

Pengamatan dilakukan secara "off line", yaitu antara proses identifikasi dan proses perekaman data dilakukan secara terpisah, tidak bersamaan dan diawali dengan proses perekaman data. Perangkat lunak yang digunakan dalam melakukan iterasi adalah paket program 'MATLAB'.<sup>(7)</sup> Sedang perangkat keras untuk sistem data aqisisi digunakan modul ADAM<sup>(8)</sup> antara lain : ADAM 4541, ADAM 4050, ADAM 4017. Untuk jalur komunikasi dengan PC digunakan serial RS 232 melalui COM.<sup>(9)</sup> Konsep sintesa algoritma kwadrat terkecil pada identifikasi parameter sistem, yang dituliskan secara blok diagram disajikan pada Gambar 1. Sedang sistem akuisisi datanya disajikan pada Gambar 2



Gambar 1. Blok diagram algoritma kwadrat terkecil pada identifikasi parameter sistem.



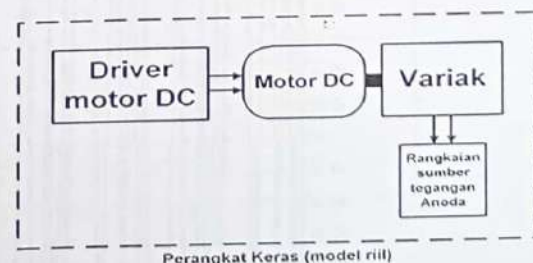
Gambar 2. Sistem akuisisi data identifikasi parameter.

ADAM 4541 merupakan modul pengkonversi dari RS232 ke jalur komunikasi data serat fiber optis antara PC dengan proses (sumber elektron). ADAM 4050 merupakan modul keluaran digital (*digital output*), mempunyai 7 kanal keluaran digital. Pada rangkaian kendali sumber elektron modul ADAM 4050 digunakan untuk menggerakkan motor DC (pengatur tegangan anoda) dengan arah putaran dapat balik (putar kanan, putar kiri). ADAM 4017 merupakan masukan analog (*analog input*), digunakan untuk mengukur tegangan keluaran sumber electron (tegangan anoda).

Blok riil berisikan rangkaian sistem aktuator pengendali sumber elektron MBE. Secara blok diagram disajikan pada Gambar 3.

Blok driver motor DC dan motor DC dari Gambar 3, berada pada blok pengatur tegangan anoda pada

Gambar 2. driver motor DC mendapat sinyal pengendalian dari modul 4050. Adapun sinyal tegangan keluaran blok rangkaian sumber tegangan Anoda merupakan sinyal masukan pada ADAM 4017.

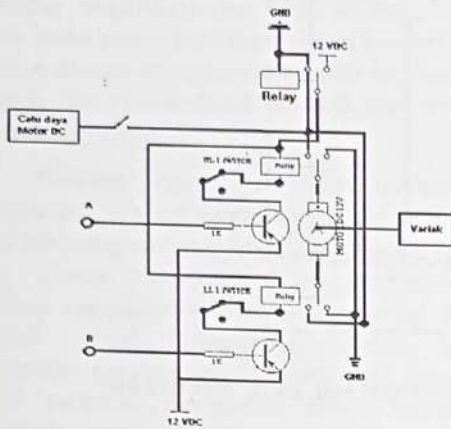


Gambar 3. Blok diagram rangkaian sistem aktuator pengendali sumber elektron MBE.



**Driver Motor DC**

Driver motor adalah suatu rangkaian pengendali motor DC yang dilengkapi dengan catu daya DC, seperti digambarkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Driver motor DC.**

Terminal A dan B dihubungkan dengan kanal-kanal di modul ADAM 4050. Sedangkan switch LL ('low level') dan UL ('upper level') merupakan switch pembatas gerakan kearah kanan dan kiri dari tuas motor. Dengan rangkaian pengendali tersebut motor DC dapat digerakkan berputar kearah kanan dan kiri, sesuai dengan adanya sinyal masukan yang di terima oleh terminal A atau B.

Blok model berisikan persamaan polynomial orde  $n$ , dituliskan sebagai berikut :

$$y(t) = \frac{C_0 + C_1 q^{-1} + C_2 q^{-2} + \dots + C_m q^{-m}}{A_0 + A_1 q^{-1} + A_2 q^{-2} + \dots + C_n q^{-n}} u(t) \quad (6)$$

dapat juga dinyatakan sebagai

$$A_n y(t) = -A_1 y(t-1) - A_2 y(t-2) - \dots + C_0 u(t)$$

$$+ C_1 u(t-1) + C_2 u(t-2) \quad (7)$$

Jika  $A_0 = 1$ , maka diperoleh

$$y(t) = \theta \cdot \phi^T \quad (8)$$

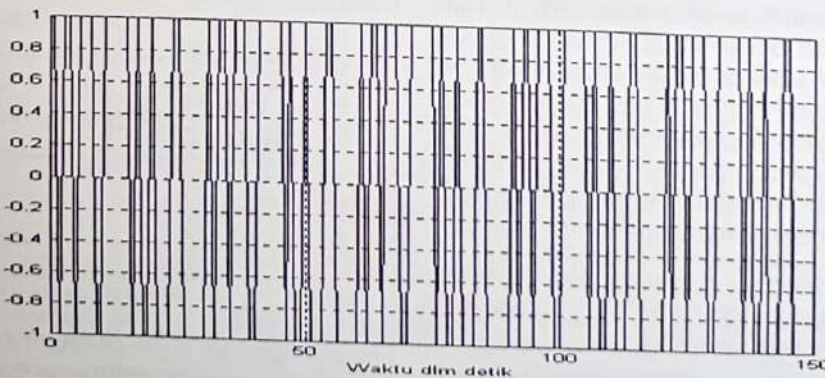
dengan  $\theta$  dan  $\phi$  berturut-turut adalah vektor parameter model aktuator dan vektor informasi, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\theta = [A_0, A_1, A_2, \dots, A_{N_a}, C_0, C_1, C_2, \dots, C_{N_c}] \quad (9)$$

$$\phi = [-y(t-1) - y(t-2) \dots u(t) u(t-1) u(t-2) \dots] \quad (10)$$

$N_a$  adalah jumlah parameter  $A$  (orde polynomial  $A$ ).  $N_c$  adalah jumlah parameter  $C$  (orde polynomial  $C$ ). Pada algoritma rekursi kwadrat terkecil digunakan menentukan nilai elemen vektor parameter model yang optimal. Sinyal  $Y_{estimasi}$  dan sinyal masukan  $U$  merupakan penyusun vektor informasi. Persamaan 19 dikatakan rekursi, dikarenakan keluaran sesaat ( $t$ ) ditentukan dari keluaran yang lalu ( $y(t-i)$ ) dan masukan yang lalu ( $u(t-i)$ ). Sinyal  $Y_{terukur}$  merupakan sinyal keluaran dari blok riil, kemudian dibandingkan sinyal  $Y_{estimasi}$  sehingga diperoleh sinyal kesalahan. Didalam penjabaran algoritma kwadrat terkecil, sinyal kesalahan dinyatakan dalam besaran kesalahan 'apriori', dan dikoreksi dengan persamaan 16 menjadi besaran kesalahan 'posterior'. Sinyal masukan masing-masing proses (model dan riil), dan blok algoritma kwadrat terkecil, berujud sinyal PRBS (pseudo-random Binary Sequences) seperti pada Gambar 5. Sinyal PRBS merupakan pulsa-pulsa binary (1,0) dengan lebar pulsa dibuat random. (Pseudo random binary sequential) adalah generator sinyal random biner yang dihasilkan dari persamaan :

$$Y = 1 \oplus Y^{-1} \oplus Y^{-2} \oplus Y^{-3} \quad (11)$$



**Gambar 5. Sinyal PRBS sebagai sinyal penyidik sistem.**

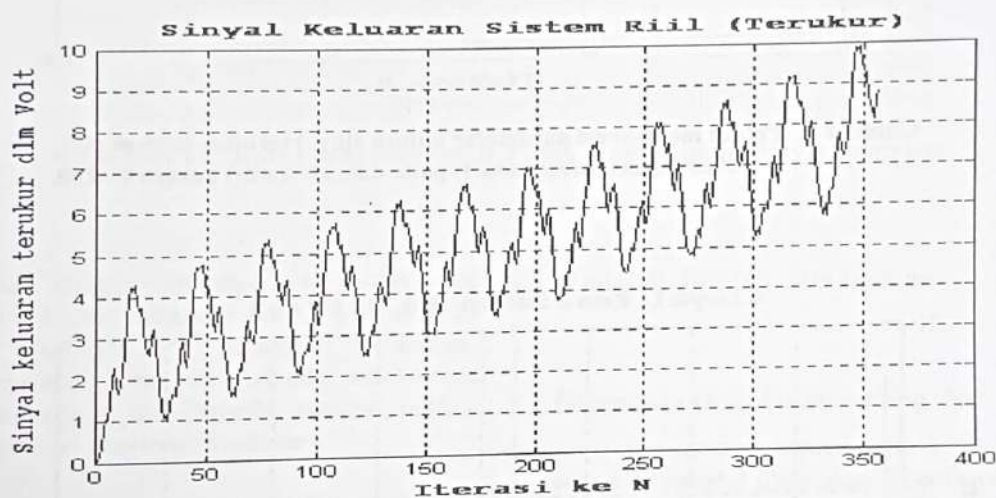
Didalam identifikasi parameter aktuator pengendali sumber elektron pulsa *binary* (1,0) dimodifikasi menjadi (1,-1), dikarenakan aktuator akan bekerja sebagai aktuator kendali posisi (dapat dinaikkan dan diturunkan).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

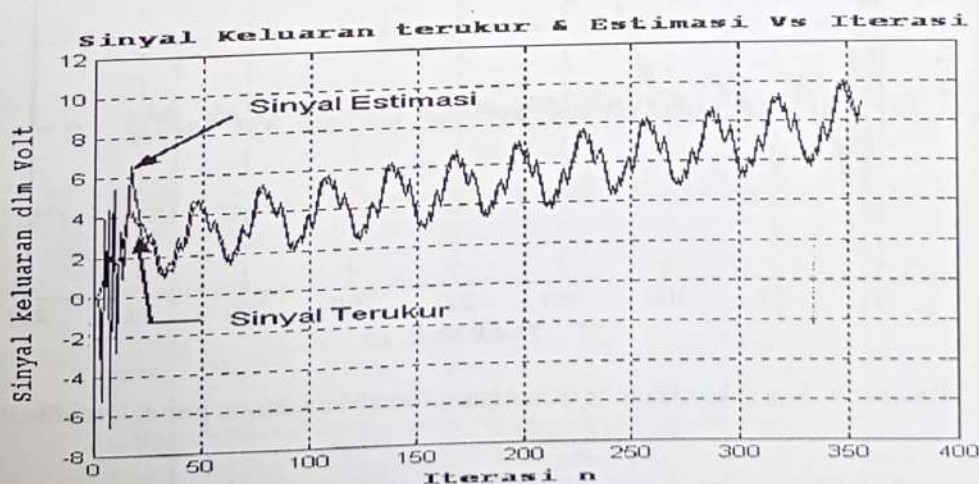
Hasil proses perekaman data sinyal keluaran sistem dengan sinyal masukan PRBS dapat ditunjukkan pada kurva Gambar 6. Dari Gambar tersebut terlihat kurva berosilasi dan bergeser menjauh dari titik 0 Volt ke arah titik 10 Volt. Hal tersebut dikarenakan kecepatan putar kanan dan kiri

dari motor DC tidak sama. Yang disebabkan sifat histerisis dari medan magnet dalam motor DC.

Didalam identifikasi parameter sinyal keluaran sistem riil tersebut digunakan sebagai sinyal model dari keluaran sistem model. Adapun proses identifikasi parameter disajikan pada Gambar 7. Sedangkan Gambar 8 untuk memperjelas perilaku dari kurva sinyal terukur dan sinyal estimasi. Dari kedua Gambar tersebut dapat dilihat, bahwa mulai titik A kurva sinyal estimasi sudah mulai mengikuti perilaku dari sinyal terukur. Hal tersebut diperkuat dengan memperhatikan kesalahan yang dihasilkan (Gambar 9). Pada Gambar 9 sinyal kesalahan akan berflutuasi disekitar nilai 0 setelah titik A.

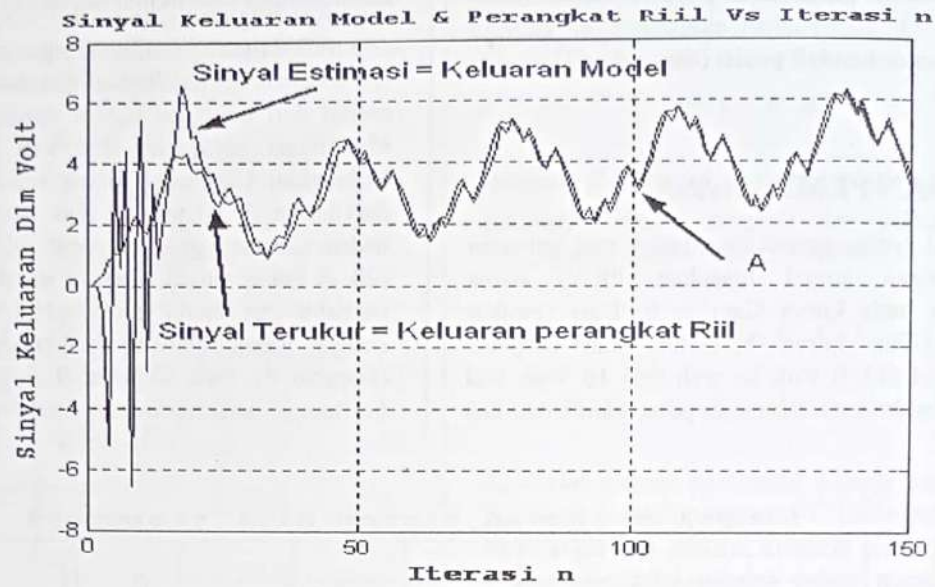


Gambar 6. Kurva sinyal keluaran sistem Riil dengan masukan sinyal PRBS.

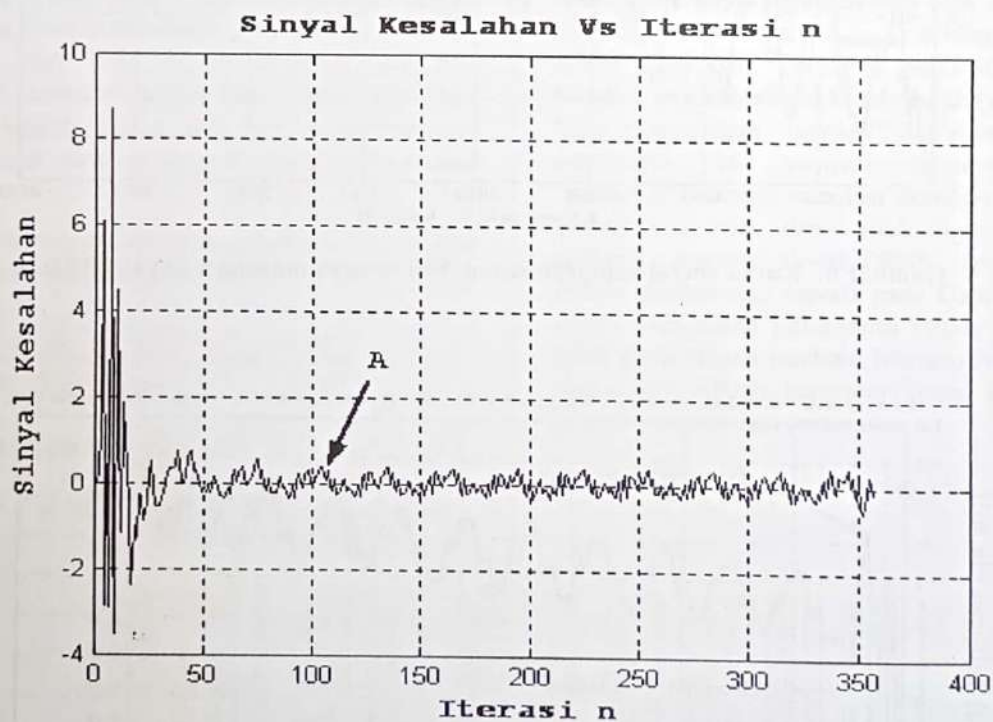


Gambar 7. Proses identifikasi parameter antara sinyal terukur (sistem riil) dan Sinyal estimasi (sistem model).





Gambar 8. Proses identifikasi parameter antara sinyal terukur (sistem riil), sinyal estimasi (sistem model) pada daerah iterasi antara 0 - 150.

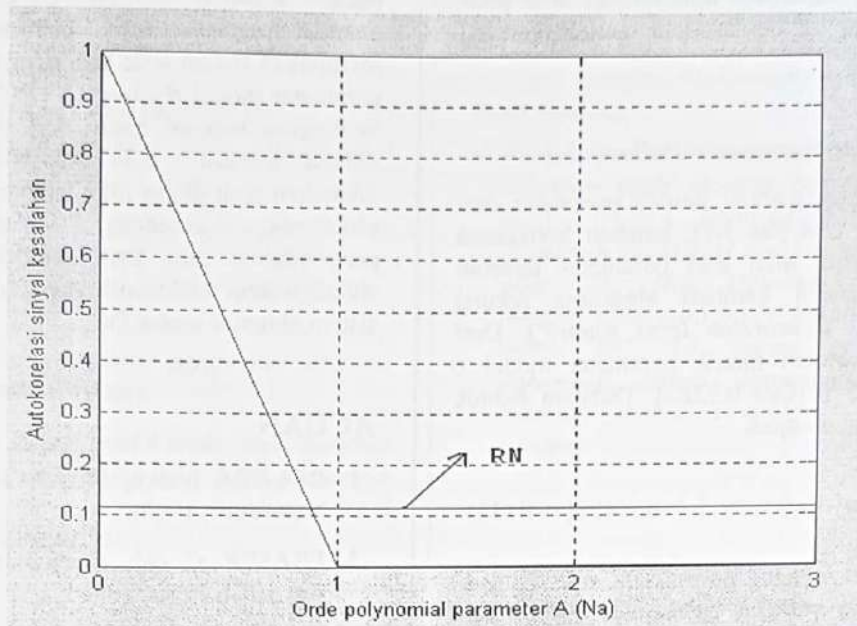


Gambar 9. Sinyal kesalahan vs iterasi (sinyal kesalahan selama proses identifikasi).

#### Penentuan Orde Polinomial $A$ ( $N_a$ ).

Untuk mengetahui jumlah orde polinomial  $A$  ( $N_a$ ) lihat persamaan (20), dilakukan pengamatan

antara jumlah orde polinomial  $A$  ( $N_a$ ) terhadap sinyal kesalahan yang dihasilkan, dan diperoleh hasil seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva orde polinomial A (Na) vs autokorelasi sinyal kesalahan.

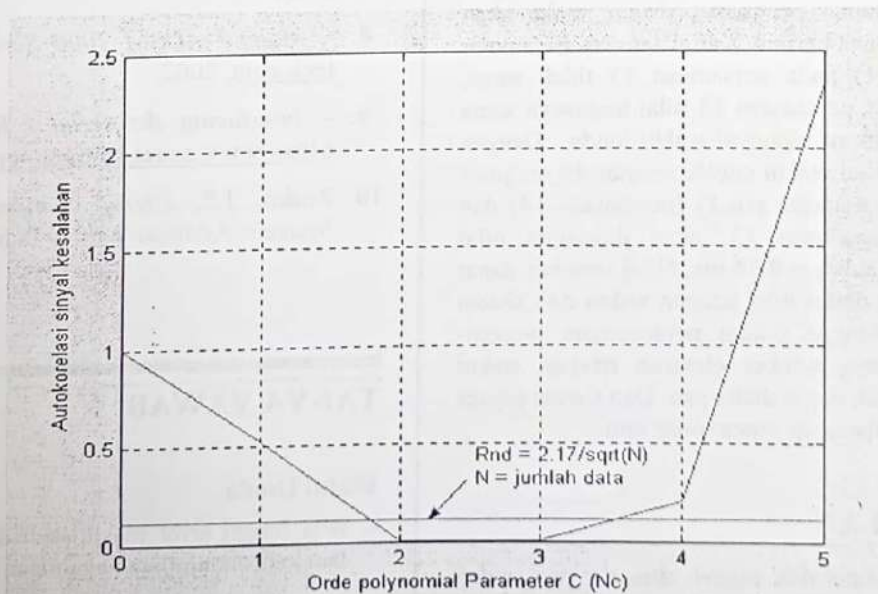
Dari Gambar 10 diperoleh jumlah orde polinomial A (Na) sebesar 1 berdasarkan methoda validasi "whiteness test"<sup>[4]</sup>. Sedangkan RN merupakan persyaratan (batas minimal nilai autokorelasi sinyal kesalahan) dari kriteria metoda validasi "whiteness test" dengan nilai sebesar

$$|RN(i)| \leq \frac{2.17}{\sqrt{N}}; \quad i \geq 1 \quad (12)$$

N adalah jumlah data terekam.

**Penentuan Orde Polinomial C (Nc)**

Dengan cara seperti pada penentuan jumlah orde polinomial A (Na), akan diperoleh Gambar 11, yaitu kurva hubungan antara jumlah orde polinomial C dan autokorelasi sinyal kesalahan.



Gambar 11. Kurva orde polinomial C (Nc) vs autokorelasi sinyal kesalahan.



Dari Gambar 11 diperoleh nilai/jumlah orde polinomial C sebesar 2 berdasarkan metoda validasi "whiteness test".

### Penentuan Nilai Parameter Polinomial

Setelah mendapatkan jumlah parameter dari orde polinomial ( $N_a$  dan  $N_c$ ), langkah berikutnya adalah menentukan nilai dari parameter tersebut dengan menjalankan kembali algoritma rekursi kwadrat terkecil ('recursion least square'). Dari hasil iterasi diperoleh matrik parameter model  $\theta$  sebesar [-1.0035 0.1689 0.3282]. Didalam bentuk persamaan digital menjadi

$$y(n) = -1.0035 y(n-1) + 0.1689 u(n) + 0.3282 u(n-1) \quad (13)$$

dan dinamakan sebagai persamaan orde 1. Berdasarkan kriteria validasi "whiteness test", sistem atau model yang diperoleh menunjukkan adanya waktu tunda (delay time) karena nilai  $c_1$  nilai parameter  $u(n) = 0.1689 < 0.15 \times$  nilai  $c_2$  ( $c_2$  nilai parameter  $u(n-1) = 0.3262$ ). Hal tersebut diperkuat jika persamaan 12 dibandingkan dengan persamaan digital untuk sistem orde 1 hasil pendekatan metoda Tustin<sup>[10]</sup>.

$$y(n) = \left\{ -\left( \frac{2\tau - T}{2\tau + T} \right) y(n-1) + (u(n) + u(n-1)) \left( \frac{bT}{2\tau + T} \right) \right\} \quad (14)$$

dengan  $\tau$ ,  $T$ ,  $b$  adalah tetapan waktu, waktu cuplik (sampling), tetapan penguatan sistem, maka akan diperoleh sebagai berikut : nilai tetapan parameter  $u(n)$  dan  $u(n-1)$  pada persamaan 13 tidak sama, sedangkan pada persamaan 14 nilai keduanya sama jika sistem tidak mempunyai waktu tunda. Dengan memasukkan nilai waktu cuplik sebesar 40 ms pada nilai tetapan parameter  $y(n-1)$  (persamaan 14) dan hasil pada persamaan 13, akan diperoleh nilai tetapan waktu sebesar 0.34 ms. Nilai tersebut dapat dikatakan jauh diatas nilai tetapan waktu dari sistem elektronik, sehingga dalam perancangan pengendalian catu daya sumber elektron tetapan waktu sistem elektronik dapat diabaikan. Dan sistem proses (plant) dapat dianggap sistem orde satu.

### KESIMPULAN

Telah diperoleh model aktuator pengendali sumber elektron MBE, sebagai hasil dari identifikasi parameter sistem dengan menggunakan algoritma

rekursi kwadrat terkecil. Dari hasil identifikasi parameter menunjukkan, bahwa sistem aktuator merupakan sistem orde satu dengan nilai dari matrik parameter model  $\theta$  sebesar [-1.0035 0.1689 0.3282]. Sedangkan tetapan waktu dari sistem orde 1 yang didapat sebesar 0.34 ms. Nilai tersebut dapat dikatakan jauh diatas nilai tetapan waktu dari sistem elektronik, sehingga dalam perancangan pengendalian catu daya sumber elektron tetapan waktu sistem elektronik dapat diabaikan terhadap sistem aktuator motor DC.

### ACUAN

1. BOLDEA I. dkk, *Electric Drives*, CRC Press, New York, 1998.
2. FRASER, C. dkk, *Electro Mechanic Engineering*, IEEE Press, 1994.
3. KUTSUHITO OGATA, *Modern Control Engineering*, 2nd Ed, Prentice Hall of India, New Delhi, 1992.
4. BUDI SANTOSA, *Rancangan Estimator Least Square Pada Sistem Termometer Derau Termal*, ITB, 1997.
5. LANDAU I.D., *Sistem Identification and Control Design*, Prentice Hall, Engle Wood Cliffs, New Jersey, USA, 1990.
6. PROAKIS J.G., dkk., *Advanced Digital Signal Processing*, Macc Millan Co. USA. 1993.
7. JERZY MOSCINSKI. dkk, *Advanced Control with MATLAB & SIMULINK*, Printice Hall, 1995.
8. -, *Manual ADAM 4000 Series*, [www.advantech.com](http://www.advantech.com), 2002.
9. -, *Interfacing the serial / RS232 Port V5.0*, <http://www.senet.com.au/~epeacecock>, 2002.
10. Rosko, J.S, *Digital Simulation of Physical Systems*, Addison-Wesley Publs.Co. 1971.

### TANYA YAWAB

#### Widdi Usada

- Bila fungsi error masih jauh dari harapan, maka langkah selanjutnya bagaimana?
- Apakah model dopant (model proses) dibuat dinamis atau statis saja ?



**Budi Santosa**

– Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan

- menambah jumlah data cuplikan ( $N$ )
- memodifikasi algoritma  $F$  pada persamaan 4 menjadi

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t) \cdot \phi^T(t) \cdot F(t)}{1 + \frac{1}{\lambda} \phi^T(t) \cdot F(t) \cdot \phi(t)}$$

dengan  $\lambda$  adalah factor penguatan adaptasi (Gain Adaptation factor).

– Selama proses iterasi model statis, yang berubah hanya nilai parameternya saja. Nilai parameter sesaat sama dengan nilai parameter hasil estimasi algoritma RLS?

**Dudung AR**

– Fungsi dasar PRBS ?

**Budi Santosa**

– Fungsi dasar PRBS merupakan hasil dari operasi bilangan biner dengan operator Exclusive Or (EXOR =  $\oplus$ ), akan tetapi dalam makalah ini dilakukan modifikasi pada nilai 0 diganti dengan nilai  $-1$ . Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan data posisi berlawanan arah putar motor DC. Di dalam proses identifikasi parameter sistem digunakan sebagai sinyal masukan (sinyal penyidik = probe), bersifat random.