

Model Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Berbasis pada Sinyal Masukan Bahan Bakar dan Daya Keluaran Dengan Metoda Identifikasi Parameter

Ade Elbani

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik,
Universitas Tanjungpura Pontianak
e-mail : adeelbani@yahoo.com

Abstract– Model suatu system secara nyata merupakan keterpaduan unsur (elemen) linier maupun nonlinier, serta banyak faktor lagi yang akan mempengaruhi linieritas dari system tersebut. Pemodelan system dilakukan secara penurunan matematik akan sangat sulit, dan juga banyak elemen yang terabaikan, terutama elemen nonlinier, sehingga hasil dari model tersebut, masih kurang begitu efektif guna diterapkan langsung dilapangan. Selain metoda tersebut, ada metoda pemodelan lain, yaitu metoda identifikasi. Metoda ini akan memodelkan sistem secara keseluruhan, baik elemen linier maupun nonlinier yang kesemua itu dianggap menjadi satu kesatuan sistem yang terpadu (*black box*). Metoda ini akan menggunakan pasangan data masukan dan keluaran system secara nyata. Pada pemodelan sistem ini akan menggunakan struktur model linier akan merepresentasi sistem secara linier. Sebagai obyek model system, penelitian ini akan melakukan pemodelan pada pembangkit daya listrik tenaga diesel (PLTD), dengan pendekatan struktur model linier, serta estimasi parameter dengan menggunakan algoritma kuadrat terkecil (*least square*). Dari proses pemodelan yang akan dilakukan, akan diperoleh model parameter serta struktur model yang optimal, sehingga diperoleh model system yang baik. Model yang telah diperoleh tersebut, selanjutnya bisa dipergunakan untuk keperluan lain, misalnya untuk keperluan pengontrolan, keperluan analisis, serta keperluan simulasi lainnya untuk system tersebut.

Keywords– Sistem Identifikasi, *black box*, Model Linier, Algoritma *least square*.

1. Pendahuluan

Pada kenyataannya sistem-sistem yang ada merupakan keterpaduan unsur-unsur linier dan nonlinier^[3]. Untuk pemodelan dengan penurunan matematis kesemua ini dilakukan dengan banyak pengabaian. Perhitungan dilakukan kebanyakan berkisar pada daerah yang linier saja, sedangkan unsur nonlinier tidak banyak diperhatikan atau diabaikan. Oleh sebab itu hasil dari model yang diturunkan berdasarkan hukum fisika atau penurunan matematis, masih kurang begitu efektif guna diterapkan langsung dilapangan, namun demikian, adanya model dengan penurunan matematis

setidaknya mempermudah untuk mengetahui tentang sifat atau karakter sistem tersebut.

Selain dengan metoda penurunan hukum-hukum fisika atau penurunan secara matematis, terdapat juga metoda lain guna melakukan pemodelan sistem, yaitu dengan menggunakan metoda identifikasi. Metoda ini akan memodelkan sistem secara keseluruhan, baik unsur (elemen) linier maupun nonlinier. Kesemua itu dianggap menjadi satu kesatuan sistem yang terpadu (*black box*). Proses pemodelan ini dilakukan atas dasar pasangan data masukan dan keluaran dari sistem yang akan dimodelkan^[1].

Pada pemodelan sistem ini akan digunakan struktur model linier, yang mana akan merepresentasi sistem secara linier, pada proses pemodelannya dianggap tidak terdapat gangguan dari sinyal atau data lain, selain pasangan data masukan dan keluaran dari sistem. Kriteria atau jenis model yang akan digunakan sangat berpengaruh pada hasil yang akan dicapai.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan sistem pembangkit daya, dengan pendekatan struktur model linier, serta estimasi parameter dengan menggunakan algoritma kuadrat terkecil (*least square*). Dari proses pemodelan yang akan dilakukan, diharapkan mendapatkan hasil yang optimal, sehingga diperoleh model yang baik. Selanjutnya model ini bisa dipergunakan untuk keperluan lain, misalnya untuk keperluan pengontrolan, keperluan analisis, serta keperluan simulasi lainnya.

2. Sistem Identifikasi

Sistem identifikasi adalah merupakan metoda pemodelan yang berdasarkan pada data masukan dan keluaran sistem dinamis secara nyata, dimana dengan mengetahui data masukan dan keluarannya, akan diperoleh suatu model yang dapat merepresentasikan sistem tersebut. Namun demikian hasil yang dicapai tidaklah merupakan sesuatu yang dikatakan *benar* ataupun *salah* (secara kuantitatif), akan tetapi pernyataan yang lebih tepat adalah *baik* atau *tidak baik* (secara kualitatif). Untuk dapat mengatakan baik dan tidak baik, maka diperlukan kriteria tertentu yang merupakan landasannya.

2.1 Prosedure Identifikasi

Pemodelan menggunakan metoda identifikasi dilakukan dengan cara menganalisa data masukan dan keluaran

sistem dengan beberapa prosedur. Langkah-langkah atau prosedur identifikasi yang dilakukan adalah sebagai berikut^[1].

Melakukan pengujian dan mengambil data masukan serta data keluaran dari sistem dengan eksperimen, dalam hal ini data yang diambil harus dapat memberikan informasi yang cukup tentang perilaku sistem.

Memilih dan menentukan struktur model yang merupakan suatu set deskripsi kandidat sistem dimana model akan diperoleh; Kandidat model (himpunan model) diperoleh dengan menetapkan kumpulan model yang menjadi tempat untuk memilih model yang sesuai. Pada langkah ini sangat penting, dan merupakan langkah yang sulit, karena dibutuhkan pengetahuan apriori, intuisi rekayasa, serta wawasan dan sifat umum dari model.

Menentukan model terbaik dari kandidat model yang telah ditentukan pada prosedur diatas; Pada langkah ini dilakukan estimasi parameternya dengan algoritma identifikasi berdasarkan data masukan dan keluaran yang telah diperoleh.

Melakukan validasi terhadap model terbaik yang digunakan, pada langkah ini dilakukan pengujian terhadap kualitas model dengan mengamati performansi model tersebut. Jika model yang dipilih telah memuaskan, maka proses identifikasi dihentikan, namun sebaliknya jika masih belum memuaskan maka diulangi lagi prosedur ketiga diatas.

Dalam penulisan ini akan dilakukan dengan teknik parametrik, guna memperoleh parameter dari model secara langsung, dan teknik optimasi dilakukan dengan menggunakan algoritma *least square*.

2.2 Struktur Model Linier

Sistem-sistem yang ada akan memiliki karakter atau sifat yang berbeda, tergantung pada karakteristik alami maupun kondisi pada saat sekarang. Perubahan karakteristik yang disebabkan leleh struktur maupun pengaruh alami lainnya akan merubah suatu model dari sistem tersebut. Karakter tersebut terindikasi secara kuantitatif pada model matematik yang diperoleh. Secara umum model matematik dalam bentuk persamaan differensial direpresentasikan sebagai berikut [4].

$$a_n \frac{dx_o^n}{dt^n} + a_{n-1} \frac{dx_o^{n-1}}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_0 x_o = b_m \frac{dx_i^m}{dt^m} + b_{m-1} \frac{dx_i^{m-1}}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_i}{dt} + b_0 x_i$$

Dimana :

x_i = Data input

x_o = Data output.

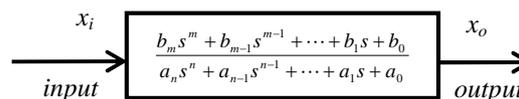
a_n dan a_m = Parameter model dari sistem,

m dan n = Orde sistem

Persamaan differensial diatas dirubah dalam bentuk persamaan laplace sebagai berikut.

$$\frac{x_o(s)}{x_i(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

Dengan demikian hubungan masukan dan keluaran dari sistem dapat ditunjukkan dalam bentuk *black box* (kotak hitam) dibawah ini.



Dari fungsi transfer tersebut terdapat orde m dan n , dimana m terdapat pada jenis pembilang atau *numerator* dan n pada penyebut atau *denominator*. Orde dari sistem diindikasikan dengan jumlah n , sedangkan jumlah m menunjukkan jenis atau *type* dari sistem tersebut, misalnya $m=2$ dan $n=1$ maka model tersebut mempunyai orde-2, type-1.

2.3 Algoritma Kuadrat Terkecil

Hubungan keluaran dan masukan model linier seperti pada persamaan umum di atas, dalam bentuk *polinomial* dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut^[1,2].

$$A(q)x_o(t) = B(q)x_i(t-m)$$

Dengan,

m = waktu tunda masukan terhadap keluaran

A dan B adalah polinomial dalam operator tunda q^{-1} dapat ditulis dalam bentuk

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-n}$$

$$B(q) = 1 + b_1 q^{-1} + \dots + b_m q^{-m}$$

dimana m dan n adalah orde polinomial.

Dengan demikian, akan didapat fungsi transfer (fungsi alih) persamaan diatas yaitu,

$$G(q) = q^{-m} \frac{B(q)}{A(q)}$$

Persamaan diatas dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinyu berikut.

$a_n x_i^n + a_{n-1} x_i^{n-1} + \dots + a_1 x_i + a_0 x_i = b_m x_o^m + b_{m-1} x_o^{m-1} + \dots + b_1 x_o + b_0 x_o$ Untuk keperluan komputasi, persamaan kontinyu diatas dirubah dalam bentuk persamaan diskrit berikut.

$$a_n x_i(t-n) + a_{n-1} x_i(t-n-1) + \dots + a_1 x_i(t-1) + a_0 x_i(t) = b_m x_o(t-m) + b_{m-1} x_o(t-m-1) + \dots + b_1 x_o(t-1) + b_0 x_o(t)$$

Dengan memisahkan ruas kiri kekanan sebagian unsur, didapat persamaan berikut.

$$a_0 x_i(t) = -a_n x_i(t-n) - a_{n-1} x_i(t-n-1) - \dots - a_1 x_i(t-1) + b_m x_o(t-m) + b_{m-1} x_o(t-m-1) + \dots + b_1 x_o(t-1) + b_0 x_o(t)$$

Untuk mempermudah perhitungan, maka parameter a_0 dianggap satu (*unity*), dengan demikian persamaan diatas menjadi

$$x_i(t) = -a_n x_i(t-n) - a_{n-1} x_i(t-n-1) - \dots - a_1 x_i(t-1) + b_m x_o(t-m) + b_{m-1} x_o(t-m-1) + \dots + b_1 x_o(t-1) + b_0 x_o(t)$$

Persamaan diskrit tersebut dilakukan dengan waktu sampling t , dimana untuk sinyal masukan $x_i(t)$ adalah sinyal masukan pada saat sekarang, sedangkan untuk $x_i(t-1)$ adalah sinyal masukan pada waktu (*step*) sebelumnya (penundaan dalam satu satuan waktu), begitu juga dengan sinyal keluaran.

Persamaan di atas dibuat dalam bentuk matrik adalah sebagai berikut.

$$x_i(t) = [-a_n \ -a_{n-1} \ \dots \ -a_1 \ +b_m \ +b_{m-1} \ \dots \ +b_1 \ +b_0] \begin{bmatrix} x_i(t-n) \\ x_i(t-n-1) \\ \vdots \\ x_i(t-1) \\ x_o(t-m) \\ x_o(t-m-1) \\ \vdots \\ x_o(t-1) \\ x_o(t) \end{bmatrix}$$

Dimana,

$$[-a_n \ -a_{n-1} \ \dots \ -a_1 \ +b_m \ +b_{m-1} \ \dots \ +b_1 \ +b_0] = \theta(t)$$

($\theta(t)$ adalah Vektor parameter)

$$\begin{bmatrix} x_i(t-n) \\ x_i(t-n-1) \\ \vdots \\ x_i(t-1) \\ x_o(t-m) \\ x_o(t-m-1) \\ \vdots \\ x_o(t-1) \\ x_o(t) \end{bmatrix} = X(t) = \text{Vektor input output}$$

Dengan penyederhanaan, persamaan diatas dapat dibuat menjadi

$$x_i(t) = \theta(t) \cdot X(t)$$

Dimana :

- $x_i(t)$ = Sinyal masukan sistem
- $x_o(t)$ = Sinyal keluaran sistem
- $\theta(t)$ = Vector parameter
- $X(t)$ = Vektor input-output

Persamaan tersebut diatas disebut **regresi linier** dari sistem.

Dengan mensubstitusi ruas kiri dan ruas kanan persamaan tersebut, maka diperoleh persamaan berikut.

$$\theta(t) = \{X^T(t)X(t)\}^{-1} X^T(t)x_o(t)$$

Dimana persamaan tersebut adalah persamaan **least square**, merupakan algoritma optimasi yang akhirnya digunakan untuk mencari parameter-parameter sistem parameterik. Kesemua elemen dari persamaan tersebut adalah dalam bentuk matrik.

2.4 Validasi Sistem

Validasi sistem sangat penting dalam suatu sistem pemodelan, yang mana akan menentukan apakah suatu sistem tersebut baik atau tidak serta juga bisa untuk menentukan apakah suatu model bisa diterima ataupun tidak.

Untuk menentukan seberapa baiknya suatu sistem yang dihasilkan dari suatu proses identifikasi, maka dilakukan proses validasi terhadap data keluaran dari data masukan. Pada sistem identifikasi ini, ada beberapa metoda validasi yang bisa digunakan, misalnya *Final Prediction Error* (PFE), *Loss Fuction*, *Akaike Information Criteria* (AIC), dan sebagainya.

2.4.1 Loss function dan Variansi

Dalam mengidentifikasi suatu sistem, kenaikan dari orde model akan menyebabkan penurunan pada **variansi** $\hat{\theta}^2$ dan **loss function**. Dengan asumsi bahwa loss function

diperoleh dari suatu model kuadrat terkecil orde n dengan p parameter dan panjang data untuk proses identifikasi adalah N, variansi dapat dinyatakan sebagai [1,2]

$$\hat{\theta}^2 = \frac{2}{N} V_N(\theta_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2(\theta_N) \text{ dengan } \theta_N \in R^p$$

$$\text{Variansi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i e_i^T \text{ Dan}$$

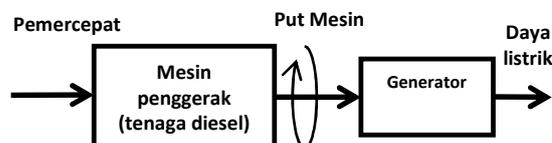
$$\text{Loss Function} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N e_i e_i^T$$

3. Sistem Daya Pembangkit

Sistem pembangkit daya listrik yang digunakan adalah system Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Pada perinsipnya untuk menghasilkan daya listrik, dilakukan konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Mesin diesel yang bekerja memutar generator, putarannya akan dipercepat dengan besarnya semprotan minyak pada ruang bakar mesin tersebut, sehingga memperbesar proses pembakaran yang berakibatkan putaran mesin menjadi lebih cepat.

Putaran mesin akan dikonversikan secara mekanik pada generator agar generator menghasilkan daya listrik (proses *mechatronic*). Pada generator akan terjadi flux magnet akibat putaran tadi, sehingga terjadi induksi magnetic yang selanjutnya menghasilkan daya atau arus listrik. Semakin besar putaran rotor pada generator yang terdiri dari lilitan kawat-kawat listrik berisolasi, maka semakin besar *flux magnet* yang terjadi pada ruang magnet tersebut. Dengan demikian arus atau daya listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Pada gambar 1, terlihat sistem pembangkit yang dipisah menjadi dua bagian berdasarkan konversi energinya. Untuk pemercepat putaran diindikasikan dengan besar kecilnya semprotan minyak pada ruang bakar mesin, akibatnya terindikasi besar kecilnya putaran mesin tersebut. Putaran mesin merupakan energi mekanik yang akan dikonversikan kembali sebagai data masukan pada generator guna memutar rotornya, yang kemudian akan berubah menjadi energi listrik.



Gambar 1 Sistem Pembangkit Daya Listrik

3.1 Spesifikasi Mesin Penggerak

Mesin penggerak berupa mesin yang menggunakan bahan bakar solar (mesin dengan tenaga diesel). Mesin diesel yang digunakan adalah memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Merk : DEUTZ
- Daya Max : 200 KVA
- Type : F 121413 F
- PK : 239
- Cylinder : 12
- Max Speed : 1500 RPM

Pada motor diesel yang digunakan ini, adalah termasuk jenis motor diesel empat langkah, dimana didalam satu kali proses pembakaran memerlukan gerakan torak empat kali naik dan turun secara bolak balik (translasi) didalam silinder, atau memerlukan dua kali putaran poros engkol. Seperti pada umumnya motor bakar empat langkah, didalam empat kali gerakan translasi torak naik dan turun atau maju dan mundur, atau dua kali gerak poros engkol, akan terjadi satu putaran yang meliputi empat proses sebagai berikut. Proses pengisian (*intake process*)

Proses kompresi (*compression process*)

Proses kerja / ekspansi (*expantion process*)

Proses pembuangan (*exhaust process*)

3. 2 Generator

Generator adalah merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dalam hal ini akan digunakan jenis generator dengan spesifikasi sebagai berikut.

Merk : AVK
 Type : DKBN 49 / 200 -4TS
 Voltage : 400 / 231 Volt.
 Daya Max : 200 KVA
 Frequency : 50 Hz.
 Polaritas : 3 Phase
 Arus max : 266,7 Ampere
 Cosphi : 0,8

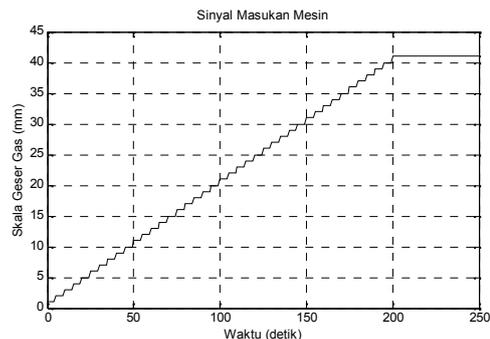
4. Pengambilan Data

Pengambilan data dalam hal ini dilakukan secara bersamaan (dalam waktu yang sama). Jenis data yang akan diambil berupa jumlah semprotan minyak pada ruang bakar mesin, putaran mesin, kemudian daya yang dikeluarkan dari generator akibat putaran mesin. Metoda pengambilan data dari ketiga jenis ini adalah

Pengambilan data dilakukan berulang kali, dengan tujuan mendapatkan hasil yang optimal. Pada proses pengambilan data ini digunakan dengan menera langsung pada alat ukur, yang berupa skala geseran gas pada mesin, *speed meter* pada mesin serta *watt meter* pada generator, yang mana kesemua ini telah tersedia pada bagiannya masing-masing. Karena pengambilan data ini secara simulatan, dan juga prosesnya dilakukan secara manual, maka pencatatan ini dilakukan oleh tiga orang, dalam waktu yang bersamaan, dimana masing-masing mencatat ketiga jenis data, yaitu data semprotan minyak, data putaran mesin dan data daya yang dikeluarkan, dengan menggunakan stopwatch sebagai pembagi waktu (periode waktu) nya.

4.1 Data masukan mesin

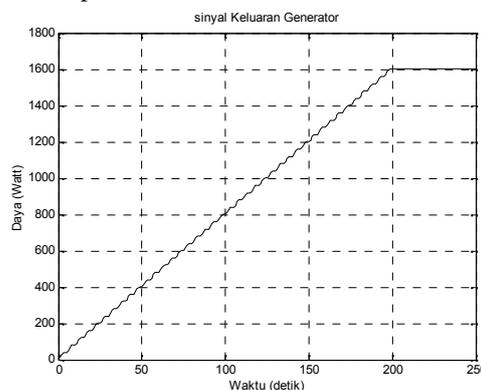
Data masukan mesin berupa semprotan minyak pada ruang bakar. Data ini diindikasikan dengan geseran katup minyak berupa alat geser.



Gambar 2 Data Masukan Mesin

4.2 Data Keluaran Generator

Data keluaran generator berupa daya listrik yang dihasilkan dari konversi mekanik ke elektrik (*mechatronic*). Data ini merupakan keluaran akhir dari sistem yang akan langsung digunakan untuk keperluan kelistrikan. Besar kecilnya daya yang dihasilkan tergantung pada besarnya putaran mesin sebagai data masukan. Data keluaran diperlihatkan secara grafis pada gambar berikut, sedangkan secara numerik terdapat pada tabel lampiran.



Gambar 3 Data Keluaran Generator

5. Proses Identifikasi Sistem.

Proses identifikasi ini dilakukan dengan metoda *try-error* untuk mencari orde dari sistem yang optimal, dimulai dengan orde yang paling rendah. Orde tersebut dikombinasi dan divariasikan terhadap orde sistem dan tipenya. Untuk orde sistem diindikasikan dengan bilangan *denominator* tertinggi, dalam hal ini n_a (atau pangkat tertinggi *denominator*). Sedangkan type sistem adalah pangkat tertinggi dari *numerator*, yaitu n_b . Kesemua ini akan dilakukan dengan mengkombinasi dan mencoba dari beberapa orde sistem dan tipenya, sehingga akan didapat model yang baik berdasarkan pada sistem validasinya..

Untuk mendapatkan parameter sistem, digunakan algoritma *least square*, yang mana dalam setiap orde akan menghasilkan suatu model dengan bilangan parameter tertentu, sesuai dengan data masukan keluarannya. Pada proses identifikasi ini akan mencari tiga model, yaitu model mesin pembangkit, model generator serta model sistem pembangkit secara keseluruhan.

5.1 Identifikasi Sistem Pembangkit

Identifikasi sistem pembangkit ini juga menggunakan algoritma *least square*, guna mengestimasi parameter dari setiap model (hasil terlihat pada tabel 1). Kriteria validasi yang digunakan adalah *loss function* dan *variansi* (hasil diperlihatkan pada tabel 2). Jumlah pasangan data dalam hal ini adalah sebanyak 250 cacah data, yaitu data keluaran dari mesin berupa besarnya daya listrik, serta data masukan berupa putaran mesin yang masuk pada generator.

Untuk menentukan kandidat model pada proses identifikasi ini dilakukan dengan metoda uji coba (*try-error*) beberapa kemungkinan model, yaitu dari orde model yang paling kecil ($n_a=n_b=1$) serta variasi beberapa orde yang lebih tinggi. Dengan demikian akan terlihat indikasi kriteria (*loss function dan variansi*) terkecil serta konvergenitas dari beberapa kandidat model tersebut. Hasil dari penentuan kandidat model ini diperlihatkan pada tabel 1 dimana berdasarkan kriteria, yaitu nilai *variansi* dan *loss-function*, maka orde terkecil dan konvergen yang akan dipilih. Dari percobaan penentuan model ini, ditentukan struktur model orde 3 ($n_a=n_b=3$) sebagai model yang dipergunakan, karena memiliki nilai *loss function* relatif paling kecil dibanding kandidat lainnya, dan orde paling rendah serta konvergen yang dibuktikan pada gambar 5a.

5.2 Estimasi Parameter Model Sistem Pembangkit

Proses identifikasi sistem pembangkit ini juga dilakukan dengan menggunakan algoritma *least square*, sedangkan metoda pemilihan orde sistem dilakukan dengan metoda *try-error* (coba-coba), yaitu dengan memasukkan nilai orde yang paling rendah, yaitu orde satu, dan seterusnya. Dari proses tersebut, semua hasil validasi sistem, baik secara *visual* (gambar grafik), maupun dengan uji statistik akan dicatat. Hasil dari proses tersebut dapat diperlihatkan pada gambar 4a dan tabel 2.

Dari proses identifikasi sistem pembangkit dengan menggunakan algoritma *least square* ini, diperoleh parameter-parameter estimasi kandidat model yang diperlihatkan pada tabel berikut

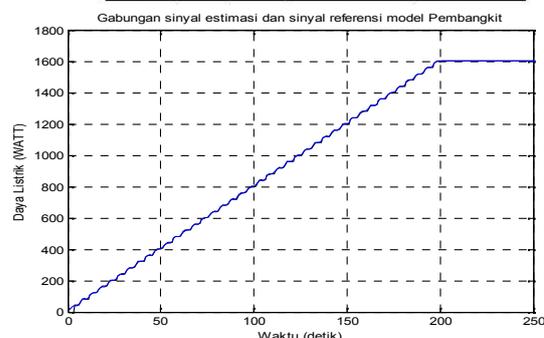
Tabel 1. Parameter Sistem Pembangkit.

Step Orde	n_a	n_b	Parameter			
			a_1	a_2	a_3	a_4
1	1	1	-9,7169			
2	2	1	-1,2753	0,6003		
3	2	2	1,2695	0,6052		
4	3	1	-1,3051	0,7512	-0,1347	
5	3	2	-1,4523	0,8175	-0,1874	
6	3	3	1,4370	0,6556	0,1526	
7	4	1	-1,6081	1,3231	-0,3605	0,3933
8	4	2	-1,5013	1,3245	-0,3802	0,4232
9	4	3	1,5054	0,9327	0,5426	0,2322
10	4	4	-1,2481	0,5733	-0,1604	0,2100

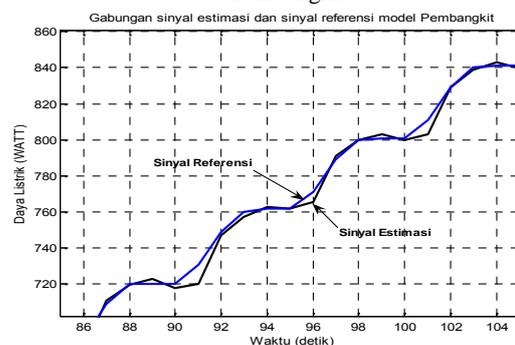
Step Orde	n_a	n_b	Parameter			
			b_1	b_2	b_3	b_4
1	1	1	19,8570			
2	2	1	12,8726			
3	2	2	13,5181	-1,7075		
4	3	1	11,4603			
5	3	2	12,3223	2,9462		
6	3	3	10,6731	3,9779	-11,8423	
7	4	1	5,0386			
8	4	2	6,2586	1,5791		
9	4	3	5,2768	5,1743	-10,1304	
10	4	4	5,0020	7,3432	-6,5803	-7,2310

Tabel 2. Validasi Sistem Pembangkit

Step Orde	n_a	n_b	Loss function	variansi
1	1	1	7,5052e+003	60,0413
2	2	1	4,3788e+003	35,0308
3	2	2	4,3541e+003	34,8324
4	3	1	5,1206e+003	40,9650
5	3	2	5,0338e+003	40,2705
6	3	3	3,4503e+003	27,6022
7	4	1	5,1437e+003	41,1494
8	4	2	5,1239e+003	40,9903
9	4	3	4,1242e+003	32,9933
10	4	4	3,7894e+003	30,3152



Gambar 4. Gabungan Sinyal Estimasi dan Referensi Model Pembangkit

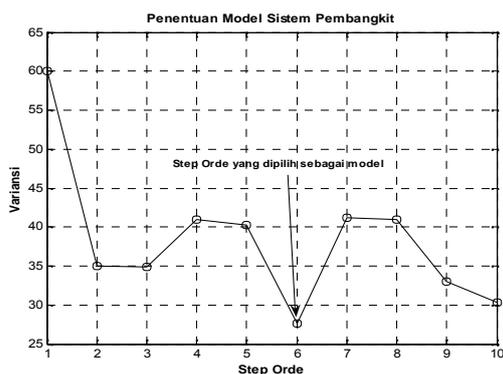


Gambar 5. Gabungan Sinyal Estimasi dan Referensi Model Pembangkit Diperbesar

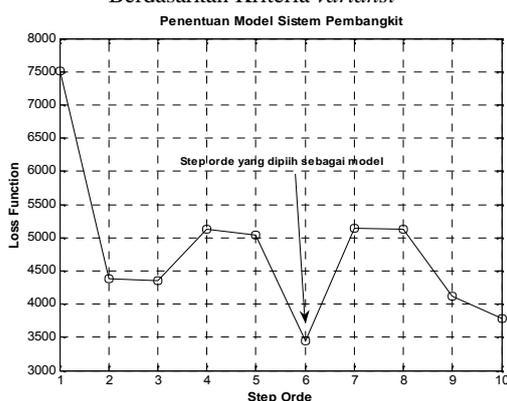
5.3 Model Sistem Pembangkit

Penentuan model Sistem Pembangkit ini, setiap step orde yang didapat diplot terhadap nilai kriteria statistik yang digunakan (*variansi dan loss-function*), yang mana dari hasil *plotting* grafik tersebut dipilih nilai kriteria yang paling kecil, serta tingkat konvergensi dari sistem dari trend grafik tersebut.

Diperlihatkan pada gambar 5a dan 5b, bahwa model yang dipilih adalah model dengan step orde enam, atau model tersebut mempunyai orde dua ($n_a=n_b=3$) yang diperlihatkan pada tabel 1. Dari grafik sistem juga terlihat mengarah pada tingkat yang konvergen, yakni nilai step orde semakin besar, trend grafik tidak menunjukkan arah yang negatif (kebawah). Hal ini menunjukkan bahwa step orde yang dipilih (angka 6 atau orde 3) adalah orde yang optimal sebagai orde model.



Gambar 5a. Penentuan Model Sistem Pembangkit Berdasarkan Kriteria *variansi*



Gambar 5b. Penentuan Model Sistem Pembangkit Berdasarkan Kriteria *Loss-function*

6. Analisis Sistem Pembangkit

Secara analisa *visual* yang diperlihatkan pada gambar 4. menunjukkan bahwa *visualisasi* sinyal keluaran model estimasi dan sinyal keluaran model referensi hampir sama, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4, yaitu sinyal keluaran estimasi mampu mengikuti sinyal keluaran referensi. Pada gambar 5.b adalah gambar dari 5. yang diperbesar, guna memperlihatkan selisih atau perbedaan antara sinyal estimasi dan sinyal referensi lebih jelas. Dengan melihat *trend* grafik pada gambar 4. di atas, maka bisa disimpulkan bahwa model estimasi hampir sama dengan model referensi (sebenarnya). Secara kuantitatif dengan uji statistik yang diperlihatkan pada tabel 2, yaitu nilai *Loss function* dan nilai *variansi* relatif kecil ($3.4503e+003$ dan 27.6022) terhadap model lainnya. Dalam hal ini mengindikasikan bahwa kandidat model ini bisa dipilih sebagai model dari sistem pembangkit daya listrik. Pada sistem identifikasi dengan uji statistik terhadap *error* tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil harga *variansi* dan *loss function* tersebut, maka sistem akan semakin baik. Dengan demikian struktur model tersebut sudah memenuhi kriteria validasi. Kesalahan (*error*) yang kecil antara sinyal keluaran nyata (yang sebenarnya) hampir sama (mendekati) hasil estimasi. Hal ini menunjukkan bahwa model yang sebenarnya akan mendekati model estimasi.

Pada sistem validasi generator ini, jika dilihat secara kuantitatif, harga *variansi* dan *loss-funtion* yang diperoleh sesungguhnya masih relatif besar. Hal ini menunjukkan selisih antara sinyal referensi dan estimasi

juga masih dirasa besar, yang berarti sebenarnya model juga masih tidak begitu baik. Namun untuk menentukan model dari sistem, nilai ini relatif kecil dari yang lainnya, artinya model ini adalah yang terpilih sebagai model mesin penggerak.

Hasil identifikasi pada sistem pembangkit daya listrik ini telah menghasilkan sistem dengan orde 3, sedangkan orde dari generator dan mesin penggerak masing-masing adalah orde 4 dan orde 2. Jika dilihat secara ideal, keseluruhan sistem pembangkit adalah memiliki orde 6, yaitu jumlah orde dari mesin penggerak dan orde dari generator. Perbedaan ini disebabkan beberapa hal, yaitu sistem pengambilan data, dimana pengambilan data tersebut masih banyak terdapat ralat (*error systematic*). Kemudian juga terdapat delay (penundaan) waktu yang tidak disadari pada saat pengambilan data tersebut, dengan demikian mungkin terdapat *cancelation* terhadap orde dari sistem. Kesalahan-kesalahan ini bisa diatasi, jika peralatan atau alat-alat ukur sudah berbentuk digital dan terkomputerisasi secara otomatis.

Hasil estimasi parameter dengan menggunakan algoritma *least square*, serta pemilihan orde dengan uji statistik tersebut, maka diperoleh orde dan nilai parameter dari sistem pembangkit tenaga listrik. Dengan memasukkan orde dan nilai-nilai tersebut, maka model dari sistem mesin penggerak dalam bentuk fungsi transfer adalah :

$$G(s) = \frac{-11,8423 s^3 + 3,9779 s^2 + 10,6734 s}{-0,1526 s^3 + 0,6556 s^2 - 1,432 s + 1}$$

Pada persamaan model diatas, menunjukkan bahwa sistem generator adalah sistem yang memiliki orde 3 dan tipe 3.

Pada keseluruhan sistem dalam proses identifikasi ini sudah bisa diterima, karena prosedur dan program yang dilakukan berjalan dengan baik, serta perbandingan dari beberapa kandidat model juga baik. Namun agar lebih baik dan bisa digunakan langsung untuk keperluan analisis maupun keperluan sistem kontrol di lapangan, maka pasangan-pasangan data atau sistem pengambilan data lebih sangat diperhatikan, baik teknik maupun infra struktur yang ada, berupa peralatan atau alat-alat ukur. Secara keseluruhan dari sistem pembangkit ini, agar nilai validasi dari model baik atau harga *variansi* relatif kecil, maka pasangan data masukan dan keluaran sistem harus dilakukan atau diambil lebih teliti (*accurate*). Dalam hal ini tentu dengan peralatan atau alat-alat ukur yang langsung mengkonversi secara otomatis dalam bentuk digital, serta waktu pengambilan data (waktu sampling) juga dijamin serempak (bersamaan), sehingga tidak terdapat kesalahan-kesalahan (ralat sistematis) yang berarti

7. Kesimpulan

Dari keseluruhan penulisan dan penelitian proses identifikasi sistem pembangkit daya listrik tenaga diesel (PLTD), dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada penulisan ini terdapat tiga (3) sistem yang diidentifikasi, yaitu :
 - Sistem mesin penggerak diperoleh orde dua,
 - Sistem generator diperoleh orde empat,
 - Sistem Pembangkit secara keseluruhan diperoleh orde tiga.
2. Pada proses identifikasi sistem, hasil yang diperoleh sudah bisa diterima, secara analisa *visual*, trend sinyal estimasi sudah bisa mengikuti trend sinyal referensi. Namun demikian, model-model sistem yang diperoleh belumlah begitu baik, terlihat pada analisa kuantitatif yang berupa nilai-nilai kriteria validasi (*loss-fuction* dan *variansi*) masih relatif besar.
3. Proses pengambilan data sistem, masih dilakukan secara manual, hal ini akan memungkinkan terjadinya ralat sistematik yang besar, hal ini terindikasi pada kriteria validasi yang relatif besar.

Referensi

- [1] Rolf, Johansson; *Sistem Modelling and Identification*, Printice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1993.
- [2] Landau, ID, "*System indentification and Control design*", Printice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1990.
- [3] Ade Elbani, *Identifikasi sistem nonlinier menggunakan model Hammerstein, dengan estimator algoritma genetik*, Tesis Magister Teknik Instrumentasi dan Kontrol, ITB, 2003.
- [4] C.S. Rangan, G.R. Sarma, V.S.V. Mani, *Instrumentation, Device and System*, McGraw-Hill Publicity company Limited, 1992.

Biography

Ade Elbani was born in Sanggau, Indonesia, on May 22, 1963. He received the B. Eng from Gadjahmada University, Yogyakarta, Indonesia, 1992. M. Eng from Bandung Institute of Technology (ITB), Bandung, Indonesia, 2003. Since 1995 he has been a academic staff of engineering faculty at Electrical Engineering Department, Tanjungpura University. His current research interests modelling and control.

