

# Identifikasi Model Curah Hujan Dengan Struktur Model Linier Dan Estimasi Parameter Dengan Algoritma Kuadrat Terkecil

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

**Abstrak,** Curah hujan dari waktu ke waktu tidak lagi menunjukkan suatu kejadian yang linier, yakni memiliki periode yang sangat tidak menentu. Hal ini terjadi juga ada hubungan dengan kondisi alam yang menyebabkan perubahan ekosistem, sehingga mengakibatkan proses penguapan maupun kondensasi uap terganggu. Untuk melakukan perkiraan terhadap cuaca yang akan datang, maka terlebih dahulu dilakukan pemodelan. Untuk pemodelan system dilakukan secara penurunan matematik akan sangat sulit, dan 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. Akan diambil data sampel curah hujan selama sepuluh tahun terakhir dari Stasiun BMKG Rahadi Oesman Ketapang, sebagai referensi proses pemodelan, yaitu dengan pendekatan struktur model nonlinier, yaitu pendekatan model Hammerstein, serta parameter estimasi dengan menggunakan algoritma kuadrat terkecil (*least square*). Dari model yang diperoleh, akan diperoleh model parameter serta struktur model yang optimal, sehingga diperoleh model system yang baik, selanjutnya bisa dipergunakan untuk keperluan lain, misalnya untuk memperkirakan curah hujan yang akan datang.

**Key Word :** Sistem Identifikasi, *black box*, Model Linier, Algoritma *least square*.

## 1. Pendahuluan

Pada kenyataannya sistem-sistem yang ada merupakan keterpaduan unsur-unsur linier dan nonlinier<sup>[3]</sup>. Untuk pemodelan dengan penurunan matematis kesemua ini dilakukan dengan banyak 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<sup>[1]</sup>.

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 Prosedur 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<sup>[1]</sup>.

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

Beberapa dan setiap sistem yang ada pasti 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,

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

Dimana :

$x_i$  = Data input

$x_o$  = Data output.

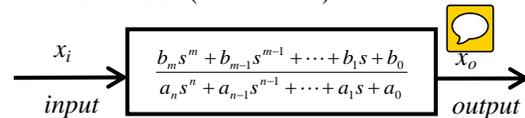
$a_n$  dan  $a_m$  = Parameter model dari sistem,

$m$  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

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

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.

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

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.

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

Dimana,

$$\begin{bmatrix} -a_n & -a_{n-1} & \dots & -a_1 & +b_m & +b_{m-1} & \dots & +b_1 & +b_0 \end{bmatrix} = \theta(t)$$

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

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

Dengan penyederhanaan, persamaan diatas dapat dibuat menjadi

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

Dimana :  $x_i(t)$  = Sinyal masukan sistem

$x_o(t)$  = Sinyal keluaran sistem

$\theta(t)$  = Vector parameter

$\varphi(t)$  = Vektor input-output

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

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

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

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**  $\hat{\sigma}^2$  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,

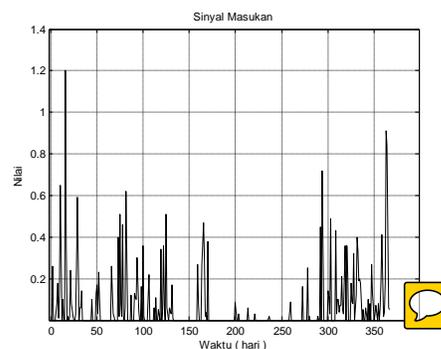
$$\hat{\sigma}^2 = \frac{2}{N} V_N(\theta_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2(\theta_N) \quad \text{dengan } \theta_N \in R^p$$

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

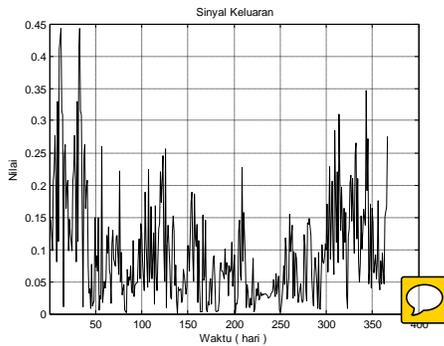
## 3. Data Sistem

Data curah hujan yang hendak digunakan adalah data kondisi curah hujan yang akan diambil dari BMKG, dalam perioda waktu beberapa tahun, data tersebut akan diverifikasi menjadi pasangan data masukan dan data keluaran.

Data masukan dalam hal ini adalah data hujan tahunan sebelum data tahunan untuk data keluaran.



Gbr. 1 Data Masukan



Gbr. 2 Data Keluaran

#### 4. Pemodelan Sistem.

Proses identifikasi ini akan dilakukan dengan mencari orde dari sistem yang optimal, yaitu dengan metoda *try-error*, 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 tipe sistem adalah pangkat tertinggi dari *numerator*, yaitu  $n_b$ . Kesemua ini akan dilakukan dengan mengkombinasikan 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.

Penentuan model Sistem, setiap step orde yang didapat diplot terhadap nilai kriteria statistik yang digunakan, yaitu pada penelitian ini akan digunakan kriteria *Final Prediction Error (FPE)* dan *Loss-function (LF)*, yang mana dari hasil *plotting* grafik dipilih nilai kriteria yang paling kecil, serta tingkat konvergensi sistem dari trend grafik tersebut.

#### 4.1 Pemodelan 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 tipe sistem adalah pangkat tertinggi dari *numerator*, yaitu  $n_b$ . Kesemua ini akan dilakukan dengan mengkombinasikan 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 curah hujan pada lokasi di kabupaten Ketapang.

#### 4.2 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem model curah hujan ini akan menggunakan algoritma *least square*, guna mengestimasi parameter dari setiap model. Kriteria validasi yang digunakan adalah *Final Prediction Error (FPE)* yang hasil diperlihatkan pada tabel 5.2 dan *Loss-function (LF)* yang hasilnya diperlihatkan pada tabel 5.1. Jumlah pasangan data dalam hal ini adalah sebanyak 366 cacah data, yaitu data keluaran yang diimplementasikan dari data curah hujan harian selama satu tahun (thn 2003), serta data masukan yang diimplementasikan dari data curah hujan harian selama satu tahun (thn 2002).

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 (*nilai loss function dan nilai FPE*) terkecil serta memperlihatkan tingkat konvergensi dari beberapa kandidat model tersebut.

Hasil dari penentuan kandidat model ini diperlihatkan pada tabel 5., 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 5 ( $n_a=n_b=5$ ) sebagai model yang dipergunakan, karena memiliki nilai kriteria *loss function* dan *FPE* relatif paling kecil dibanding kandidat lainnya, dan orde paling rendah serta konvergen yang dibuktikan pada gambar 5a.

#### 4.3 Estimasi Parameter Model

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 Denumerik Sistem**

N <sub>a</sub>	N <sub>b</sub>	Parameter					
		a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>
5	5	-0.2822	-0.227	-0.09	0.1041	-0.2149	0.0962

**Tabel 2 Parameter Numerik Sistem**

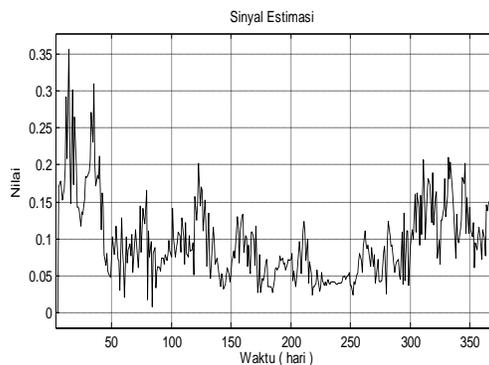
N <sub>a</sub>	N <sub>b</sub>	Parameter				
		b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>
5	5	0.0359	0.0539	0.0544	-0.0319	0.0191

#### 4.4 Validasi Sistem

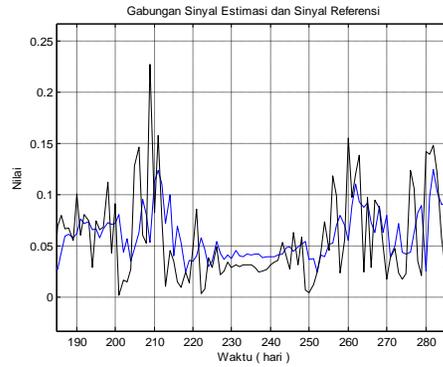
Setiap kandidat model, akan menghasilkan sinyal keluaran estimasi dengan sinyal masukan yang sama. Sinyal keluaran estimasi ini tidak selalu sama dengan sinyal keluaran yang sebenarnya, yakni selalu ada selisih (*error*). Selisih sinyal ini yang akan menentukan kriteria dari model yang akan dipilih sebagai model sistem.

Pada penelitian ini, akan menggunakan kriteria statistik berupa *loss function* dan *Final Prediction Error (FPE)*, karena dalam mengidentifikasi suatu sistem, kenaikan dari orde model akan menyebabkan penurunan pada nilai *Final Prediction Error (FPE)* maupun *loss function*. Akhirnya dengan melihat nilai-nilai dari kriteria tersebut serta membandingkan dengan yang lainnya, maka akan ditentukan model yang dipilih dari kandidat-kandidat model lainnya.

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas, diperoleh hasil validasi yang diperlihatkan pada tabel 2. Hasil validasi sistem akan menunjukkan bahwa sistem dengan orde 5 ( $n_a=n_b=5$ ) sebagai model yang akan dipilih.



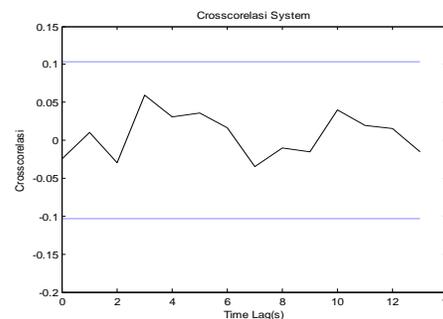
Gbr 3 Sinyal Estimasi



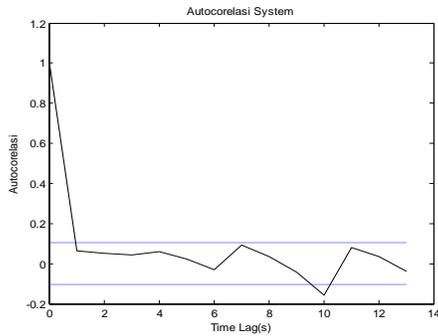
Gbr 4. Gabungan Sinyal Estimasi dan Referensi

**Tabel 3 Validasi Sistem**

Step Orde	N <sub>a</sub>	N <sub>b</sub>	Validasi	
			Lost Function	FPE
1	1	0	0.9725	0.0053
2	1	1	0.9159	0.0050
3	2	0	0.8813	0.0048
4	2	1	0.8230	0.0045
5	2	2	0.8195	0.0045
6	3	0	0.8446	0.0047
7	3	1	0.8024	0.0044
8	3	2	0.8010	0.0044
9	3	3	0.7799	0.0043
10	4	0	0.8582	0.0047
11	4	1	0.8138	0.0045
12	4	2	0.8126	0.0045
13	4	3	0.7924	0.0044
14	4	4	0.7876	0.0044
15	5	0	0.8263	0.0046
16	5	1	0.7957	0.0044
17	5	2	0.7943	0.0044
18	5	3	0.7829	0.0043
19	5	4	0.7754	0.0043
20	5	5	0.7678	0.0043
21	6	0	0.8575	0.0048
22	6	1	0.8260	0.0046
23	6	2	0.8246	0.0046
24	6	3	0.8129	0.0045
25	6	4	0.8071	0.0045
26	6	5	0.8048	0.0045
27	6	6	0.8021	0.0045
28	7	7	0.8222	0.0046
29	8	8	0.8176	0.0046
30	9	9	0.8315	0.0047
31	10	10	0.8286	0.0047



Gbr 5 Kriteria Statistik Crosscorelasi

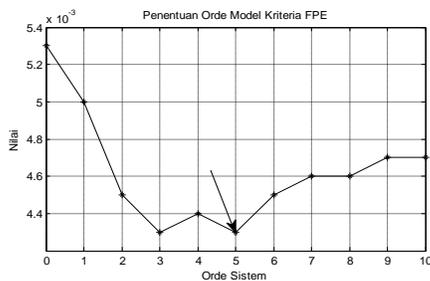


Gbr. 6 Kriteria Statistik Autocorelasi

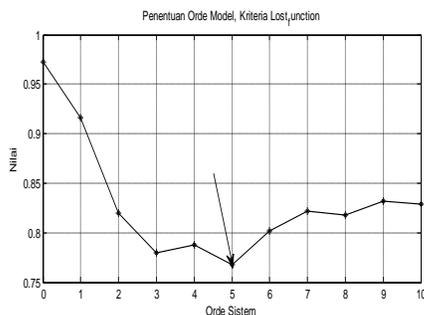
### 5.4 Penentuan Model Sistem

Untuk menentukan model sistem (curah hujan) ini, dilakukan dengan melihat kecenderungan pada setiap step orde yang diplot terhadap nilai kriteria statistik yang digunakan (*FPE dan loss-function*), yang mana dari hasil *plotting* grafik tersebut dipilih nilai kriteria yang paling kecil, serta tingkat konvergensi dari sistem dari trend grafik.

Diperlihatkan pada gambar 5.5 dan 5.6, bahwa model yang dipilih adalah model dengan step orde 20 (dua puluh), atau model tersebut mempunyai orde lima, dimana ( $n_a=n_b=5$ ) yang diperlihatkan pada tabel 5.2. 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 20 atau orde 5) adalah orde yang optimal sebagai orde model.



Gbr 7. Penentuan Model Berdasarkan Kriteria *FPE*



Gbr 8. Penentuan Model Berdasarkan Kriteria *Loss-function*

## 6. Hasil dan Analisis

Secara analisa *visual* yang diperlihatkan pada gambar 3 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.

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 5, yaitu nilai *Loss function* dan nilai *FPE* relatif kecil (0,7678 dan 0,0043) terhadap model lainnya.

Untuk kriteria statistik baik kriteria *correlaasi* dan *autocorelasi*, terlihat seperti pada gambar 5 dan 6, keduanya telah terpenuhi dengan terlihat grafik berada pada daerah fisibel atau terletak di dalam garis kriteria.

Dalam hal ini mengindikasikan bahwa kandidat model ini bisa dipilih sebagai model dari sistem curah hujan. Pada sistem identifikasi dengan uji statistik terhadap *error* tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil harga *FPE* 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 model curah hujan ini, jika dilihat secara kuantitatif, harga *FPE* dan *loss-function* 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 sistem curah hujan.

Hasil identifikasi pada sistem model sistem curah hujan ini telah menghasilkan sistem dengan orde 5, yakni nilai  $n_a$  dan  $n_b$  sama. Jika dilihat secara ideal, keseluruhan sistem model sistem curah hujan adalah memiliki orde 5, yaitu nilai orde numerator dan denominator sama dengan lima.

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

$$G(s) = \frac{-0,0359s^4 + 0,0539s^3 + 0,0544s^2 - 0,0319s + 0,0191}{-0,2822s^5 - 0,227s^4 - 0,09s^3 + 0,1041s^2 - 0,2149s + 0,0962 + 1}$$

Pada persamaan model diatas, menunjukkan bahwa sistem model sitem curah hujan adalah sistem yang memiliki orde 5 dan type 5.

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 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 model sitem curah hujan ini, agar nilai validasi dari model baik atau harga *FPE* 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 kan secara otomatis dalam bentuk digital.

## 7. Kesimpulan

Dari keseluruhan penulisan dan penelitian proses identifikasi sistem curah hujan ini disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada penulisan sistem yang diidentifikasi, adalah system orde lima (5) dan type lima (5)
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 *FPE*) masih relatif besar.
3. Proses pengambilan data sistem, masih dilakukan secara manual  ini akan memungkinkan terjadinya ralat sistematis yang besar, hal ini terindikasi pada kriteria validasi yang relatif besar.

## Referensi

1. Ade Elbani, *Identifikasi sistem nonlinier menggunakan model Hammerstein, dengan estimator algoritma genetik*, Tesis Magister Teknik Instrumentasi dan Kontrol, ITB, 2003.
2. R. Haber and L. Kevieczky, 1999, *Nonlinier System Identification Inpput-Output Modeling Approach*, volume 1: Nonlinier System Parameter Identification.
3. R. Haber and L. Kevieczky, 1999, “*Nonlinier System Identification Inpput-Output Modeling Approach*”, volume 2: Nonlinier System Parameter Identification

4. Suk Lee, J, august 1997, *Stator flux oriented sensorless IM Drive for Optimum Low Speed Performance*. IEEE Transc. on Ind.App.Vol 34.
5. Rolf, Johansson; *Sistem Modelling and Identification*, Printice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1993.
6. C.S. Rangan, G.R. Sarma, V.S.V. Mani, *Instrumentation, Device and System*, McGraw-Hill Publicity company Limited, 1992.
7. Landau, ID, “*System indentification and Control design*”, Printice Hall Inc, Englewood Cliffs, 1990.
8. Joos, G, October 1990, *MRA PWM Technique*, IEEE Transc. on Power elektronik, Vol. 4.
9. Landau, ID, 1990, “*System indentification and Control design*”, Printice Hall Inc, Englewood Cliffs.
10. R. Haber, H. Unbehauen, 1990, *Structure Identification of nonlinier Dynamic System – A Survey on Input/output Aproaches*, Automatica, Vol. 26, No. 4, pp.651-677.
11. Ljung, Lennart, 1987, “*System Identification: Theory for the User*”, Printice Hall Inc, Englewood Cliffs.

## 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.