

## Prediksi Parameter Input Model Ionosfer Menggunakan Vector Autoregression

*Buldan Muslim*

*Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi,  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa-LAPAN  
Jl Dr. Junjuran 133 Bandung 40173*

*Email:buldanms@yahoo.com*

### Abstrak

Dari data harian parameter input model ionosfer mulai tahun 1998 sampai 2000 yaitu bilangan sunspot, fluks matahari pada gelombang 10.7 cm, indeks global gangguan geomagnet beberapa hari sebelumnya dapat dilakukan prediksi beberapa hari yang akan datang untuk 3 parameter tersebut secara simultan menggunakan model *vector autoregressions* (VAR). Berdasarkan *Akaike's Information Criterion* (AIC) telah dipilih VAR orde 3. Model hanya mampu memprediksi satu tahap yang akan datang. Perbandingannya dengan model AR juga didiskusikan.

*Kata kunci: runtut waktu, model, prediksi.*

### 1. Pendahuluan

Dalam bidang komunikasi radio menggunakan HF sebagai frekuensi gelombang pembawa dan dengan memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai media pemantul gelombang tersebut diperlukan informasi tentang frekuensi maksimum yang masih dapat dipantulkan oleh ionosfer yang dikenal dengan MUF (*Maximum Usable Frequency*). MUF tersebut dapat ditentukan berdasarkan  $f_oF_2$  dan ketinggian semu lapisan  $F$  ionosfer pada titik pantul di ionosfer.

Parameter-parameter tersebut dapat diperoleh melalui pengamatan ionosfer antara lain menggunakan ionosonde vertikal. Karena keterbatasan jumlah alat yang digunakan, maka dibuatlah model ionosfer. Model JSTRU untuk parameter foF2 merupakan salah satu dari model jangka pendek ionosfer regional Indonesia, dengan input utamanya adalah bilangan sunspot harian (R), fluks 10.7 cm harian (F10.7) dan indek geomagnet harian (Ap). Agar model JSTRU dapat digunakan untuk prediksi foF2 diatas Indonesia, parameter input model ionosfer tersebut perlu diprediksi. Jika 3 parameter tersebut dapat diprediksi tidak hanya JSTRU yang dapat digunakan untuk prediksi ionosfer melainkan model lainnya yang telah diakui secara internasional juga dapat diprediksi misal IRI 2001.

Muslim (2001) telah menggunakan vector autoregression (VAR) untuk prediksi foF2 24 jam ke depan dan perbandingannya dengan prediksi AR juga telah didiskusikan. Pada makalah ini dibahas metode prediksi jangka pendek parameter input model ionosfer untuk satu hari ke depan menggunakan model VAR. Model VAR untuk 3 parameter input yaitu R, F10.7 dan Ap dengan asumsi bahwa data runtut waktu untuk tiga parameter tersebut ada keterkaitan satu sama lain dan dapat digabungkan dalam satu model VAR. Hasil prediksi VAR menggunakan kemudian dibandingkan dengan prediksi AR untuk melihat kelebihan dan kekurangan metode VAR.

## 2. Model VAR

### 2.1 Representasi model VAR(p)

Jika ada sekumpulan dari  $k$  variabel runtut waktu maka model VAR (p) dapat diungkapkan sebagai (Lütkepohl, 1999)

$$y_t = A_0 + A_1 y_{(t-1)} + A_2 y_{(t-2)} + \dots + A_p y_{(t-p)} + \varepsilon_t \tag{1}$$

dengan:

$$y_t = [y_{1t} \ y_{2t} \ \dots \ y_{(k-1)t} \ y_{kt}]^T,$$

$$\varepsilon_t = [\varepsilon_{1t} \ \varepsilon_{2t} \ \dots \ \varepsilon_{(k-1)t} \ \varepsilon_{kt}]^T, \quad A_0 = [A_{10} \ A_{20} \ \dots \ A_{(k-1)0} \ A_{k0}]^T$$

dan

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{11i} & a_{12i} & \dots & a_{1(k-1)i} & a_{1ki} \\ a_{21i} & a_{22i} & \dots & a_{2(k-1)i} & a_{2ki} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{(k-1)1i} & a_{(k-1)2i} & \dots & a_{(k-1)(k-1)i} & a_{(k-1)ki} \\ a_{k1i} & a_{k2i} & \dots & a_{k(k-1)i} & a_{kki} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, p$$

## 2.2 Estimasi model VAR(p)

Jika diberikan sampel  $Y_1, Y_2, \dots, Y_T$  dan sampel sebelumnya  $Y_{-p+1}, Y_{-p}, \dots, Y_0$ ,  $k$  persamaan dari VAR (1) dapat diestimasi secara terpisah dengan kuadrat terkecil. Dengan mendefinisikan  $Y = [Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_T]$  maka persamaan (1) dapat ditulis menjadi

$$Y = \beta Z + \varepsilon \tag{2}$$

dengan:

$$Y_t = \begin{bmatrix} y_t \\ \vdots \\ y_{t-p+1} \end{bmatrix}, \quad \beta = [A_0 \ A_1 \ A_2 \ \dots \ A_p], \quad Z = \begin{bmatrix} X_1 \\ X \end{bmatrix}, \quad X_1 = [1 \ 1 \ \dots \ 1],$$

$$X = [X_0 \ X_1 \ \dots \ X_{T-1}],$$

$$X_{t-1} = \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p} \end{bmatrix}$$

maka estimasi kuadrat terkecil dari  $\beta$  dapat dituliskan sebagai

$$\hat{\beta} = YZ^T [ZZ^T]^{-1}, \quad (3)$$

dan estimasi untuk  $Y$  adalah

$$\hat{Y} = \hat{\beta} Z, \quad (4)$$

dan deviasi atau residu adalah

$$\varepsilon = Y - \hat{Y}. \quad (5)$$

### 2.3 Penentuan orde dar model VAR

Untuk menentukan orde  $p$  dari model VAR yang paling cocok dapat dilakukan dengan memilih orde berdasarkan nilai minimum dari varian dari residu antara model dan data pengamatan, dan kriteria AIC. Jika  $k$  adalah jumlah variabel runtut waktu,  $T$  adalah jumlah data yang diestimasi maka AIC dapat diungkapkan sebagai

$$AIC = \log \left[ \det \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t \varepsilon_t^T \right) \right] + \frac{2}{T} pk^2 \quad (6)$$

Di mana  $\det (\cdot)$  adalah determinan,  $\log (\cdot)$  adalah nilai logaritma alami.

## 3. Metode Pengolahan Data

Dari WDC (<http://www.wdc.rl.ac.uk>) bisa diperoleh data R, F10.7 dan Ap harian. Untuk penelitian awal telah digunakan 3 tahun data mulai 1998 sampai 2002.

Sebagai langkah awal pemodelan dengan VAR adalah menentukan ordenya. Setelah orde VAR ditentukan berdasarkan kriteria AIC dan setelah koefisien autoregresi diestimasi kemudian dapat dilakukan prediksi beberapa

hari ke depan secara iteratif menggunakan model VAR (p) dalam struktur VAR(1). Persamaan model VAR(p) dapat ditulis kembali menjadi

$$Y_t = A_0 + [A_1 \ A_2 \ \dots \ A_p] \begin{bmatrix} Y_{(t-1)} \\ Y_{(t-2)} \\ \vdots \\ Y_{(t-p)} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

yang dalam struktur orde 1, VAR(1) berbentuk

$$\begin{bmatrix} Y_{(t)} \\ Y_{(t-1)} \\ \vdots \\ Y_{(t-p-2)} \\ Y_{(t-p-1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_{p-1} & A_p \\ I & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I & \ddots & 0 & 0 \\ \vdots & & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{(t-1)} \\ Y_{(t-2)} \\ \vdots \\ Y_{(t-p-1)} \\ Y_{(t-p)} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

di mana I adalah matriks identitas. Pada persamaan (8) sisi kanan jika digunakan untuk data runtut waktu yang terakhir maka akan memberikan prediksi  $Y_{t+1}$ , yang dapat ditulis sebagai

$$\begin{bmatrix} Y_{(t+1)} \\ Y_t \\ \vdots \\ Y_{(t-p-1)} \\ Y_{(t-p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_{p-1} & A_p \\ I & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I & \ddots & 0 & 0 \\ \vdots & & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_t \\ Y_{(t-1)} \\ \vdots \\ Y_{(t-p-2)} \\ Y_{(t-p-1)} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Persamaan (8) dapat ditulis dalam bentuk

$$Y_t = C + AY_{t-1} \quad (10)$$

dan persamaan (9) dapat diungkapkan sebagai

$$\hat{Y}_{t+1} = C + AY_t \quad (11)$$

sehingga prediksi  $h$  tahap ke depan dapat ditulis sebagai

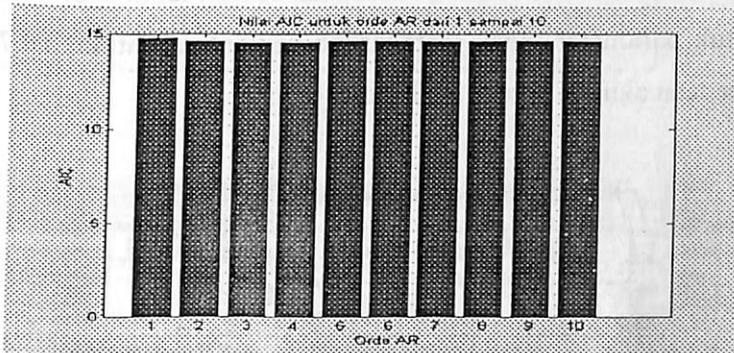
$$\hat{Y}_{t+h} = C + A\hat{Y}_{t+h-1}, \quad (12)$$

dengan  $h = 1, 2, \dots, 10$ , berarti prediksi dilakukan sampai 10 hari ke depan.

Keluaran proses prediksi tahap pertama sesuai dengan persamaan (11) dapat digunakan sebagai masukan untuk prediksi berikutnya sehingga dapat diperoleh prediksi 24 jam ke depan secara iteratif sebagaimana diungkapkan pada persamaan (12) yang mana proses komputasi prediksi model VAR orde 24 dilakukan menggunakan model VAR dalam struktur orde satu.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan kriteria AIC diperoleh VAR orde 3 untuk data R, F10.7 dan Ap seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa setelah orde ke 3, tidak ada penurunan nilai AIC bahkan nilai AIC semakin membesar. Maka dipilihlah VAR orde 3 (VAR(3)).



Gambar 1. Variasi AIC untuk VAR orde 1 sampai 10.

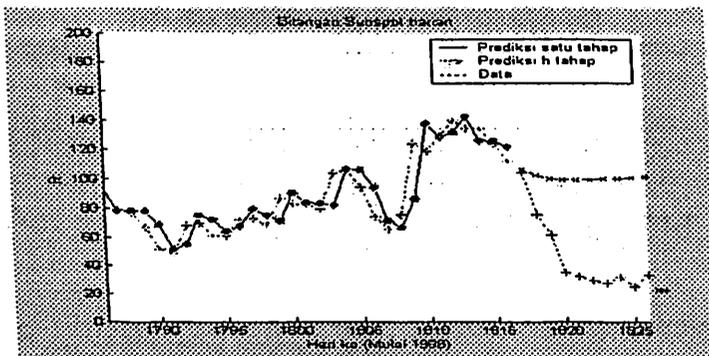
Dengan dipilihnya VAR orde 3 dibuatlah model prediksi satu tahap ke depan berdasarkan data harian untuk 3 parameter input model ionosfer yaitu R, F10.7 dan Ap. Gambar 2 memperlihatkan model VAR(3) untuk indek matahari R harian. Data aktual dan prediksinya sampai 10 hari yang akan datang juga ditunjukkan, yang mana prediksi VAR(3) hanya valid untuk prediksi satu tahap

ke depan. Kesalahan model VAR(3) untuk parameter R sebesar 9.6 atau 9.7 % sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

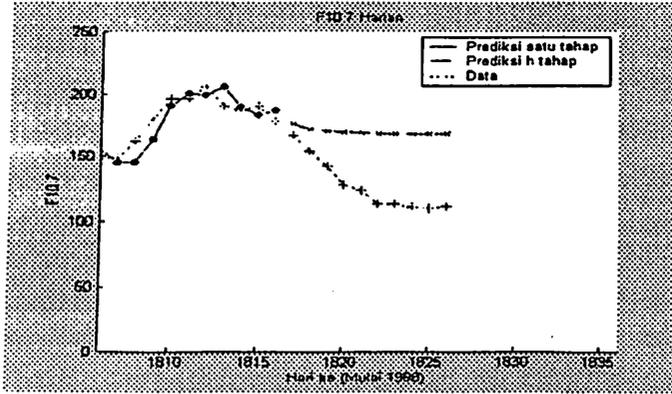
Sedangkan untuk parameter F10.7 prediksi satu tahap dan 10 hari yang akan datang dapat dilihat pada Gambar 3. Kesalahan model VAR(3) untuk F10.7 sebesar 6.1 atau dalam persen sebesar 3.8 %. Dari gambar tersebut juga diketahui bahwa prediksi VAR(3) untuk F10.7 hanya valid untuk satu hari yang akan datang. Dibandingkan dengan bilangan sunspot R, model F10.7 secara signifikan lebih akurat dengan selisih akurasi sekitar 5.9 % (Tabel 1)

Berbeda dengan dua parameter yang telah dibahas di mana kesalahan prediksi R dan F10.7 kurang dari 10 %, untuk parameter indek geomagnet Ap, model VAR(3) kurang akurat walaupun hanya untuk prediksi satu tahap ke depan, mengingat kesalahan model VAR(3) untuk indek Ap lebih dari 50 % seperti terlihat pada Tabel 1. Gambar 4.4 memperlihatkan model VAR(3) untuk indek geomagnet Ap harian.

Adapun perbandingan antara VAR(3) dengan model *autoregression* (AR) ditunjukkan pada Tabel 2. Model VAR kelihatan sedikit lebih akurat dari model AR hanya untuk parameter indek matahari R, sementara untuk F10.7 dan Ap tidak ada perbedaan akurasi secara signifikan.



Gambar 2 Prediksi satu tahap ke depan dengan VAR(3) dan prediksi 10 tahap secara iterasi untuk parameter bilangan sunspot harian



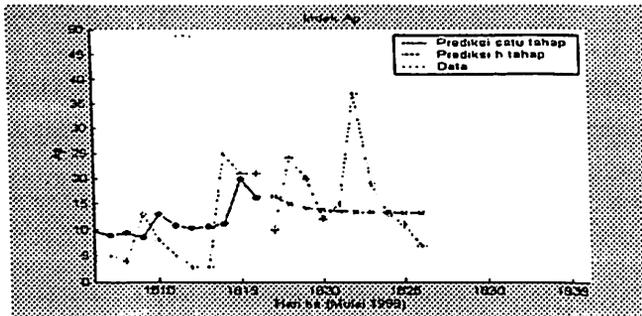
Gambar 3. Model VAR(3) untuk F10.7 dan prediksi 10 tahap ke depan.

Tabel 1. Simpangan Model VAR(3)

Parameter	Simpangan Mutlak	
	Rata-rata	(%)
R	9.6	9.7
F	6.1	3.8
Ap	7.8	59

Tabel 2 Simpangan Model AR

Orde	Simpangan Mutlak	
	Rata-rata	(%)
R (ar(20))	10.2	10.2
F (ar(19))	6.1	3.7
Ap (ar(1))	7.7	59



Gambar 4 Model prediksi indek Ap harian satu tahap ke depan dengan VAR(3)

## 5. Kesimpulan

Dari pembahasan hasil prediksi VAR dan AR dapat disimpulkan bahwa kedua metode dapat digunakan untuk prediksi harian parameter input model ionosfer seperti indek matahari R, dan F10.7 serta indek geomagnet Ap. Model VAR(3) hanya valid untuk prediksi satu tahap yang akan datang. Prediksi VAR lebih akurat dari prediksi AR untuk indek matahari R, sementara untuk F10.7 dan Ap VAR tidak jauh berbeda dengan AR. Prediksi F10.7 dengan VAR maupun AR memiliki tingkat akurasi lebih dari 95 %. Untuk indek matahari R akurasi model sekitar 90 %, sedangkan untuk indek geomagnet model VAR maupun AR akurasinya kurang dari 50 %.

Penelitian lanjut yang bisa dilakukan antara lain verifikasi model VAR dengan memasukkan data angin matahari yang langsung terkait dengan gangguan geomagnet ke dalam model VAR. Penggunaan jaringan syaraf tiruan serta preprocessing juga akan dilakukan untuk mendapatkan prediksi parameter input model ionosfer yang lebih akurat.

**Daftar Pustaka**

- Lütkepohl H., 1999, *Vector Autoregressions*, Institut für Statistik und Ökonometrie, Humboldt-Universität zu Berlin, Germany.
- Muslim B., 2001, *Prediksi foF2 24 jam ke depan menggunakan metode vector autoregression*, Ionosfer dan Komunikasi Radio, Buku 1, Puslitbang Pengetahuan Ionosfer., 157 – 164