

MODEL *Additive-Vector Autoregressive EXOGENOUS* UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DI KABUPATEN INDRAMAYU

Saputro, D.R.S¹., Mattjik, A.N²., Boer, R.³., Wigena, A.H², dan Djuraidah, A.²

¹Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sebelas Maret

²Departemen Statistika FMIPA Institut Pertanian Bogor

³Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA Institut Teknologi Bandung

E-mail: dewi_rss@yahoo.com

ABSTRAK

Kabupaten Indramayu merupakan wilayah produksi padi utama di Jawa Barat dengan kontribusi sebesar 35% dari produksi total provinsi. Kejadian El Nino pada tahun 1991, 1994, dan 1997 menyebabkan kerugian ekonomi akibat kegagalan panen mencapai 571 miliar rupiah. Kegagalan panen tersebut dapat diminimalkan apabila petani mampu beradaptasi dengan perubahan musim dan memiliki pemahaman terhadap informasi prediksi cuaca. Penelitian ini menentukan model peramalan dan pengembangannya dengan deret waktu ganda Vector Autoregressive Exogenous (VARX). VARX disusun berdasarkan peubah endogen dan eksogen, sebagai peubah endogen adalah curah hujan dan peubah eksogen adalah anomali Sea Surface Temperature (SST) Nino 3.4, Dipole Mode Index (DMI), dan Southern Oscillation Index (SOI). Model VARX yang dikembangkan disebut sebagai model aditif-VARX. Kebaruan penelitian ini adalah model yang dibuat menggunakan fungsi pemulus dan peubah indikator curah hujan (bulan basah, bulan lembab dan bulan kering). Nilai korelasi model aditif-VARX untuk masing-masing stasiun curah hujan Salam Darma dan Gantar adalah 0,72 dan 0,73, sedangkan nilai RMSEP 14,04 dan 16,04. Selanjutnya Relative Operating Characteristics (ROC) digunakan untuk menentukan skill prediksi model aditif VARX. Hasil ROC menunjukkan bahwa model memiliki nilai skill hanya pada bulan-bulan tertentu yakni pada bulan Januari, Pebruari, Maret, April, November, Desember untuk atas normal. Model handal untuk musim hujan atas normal. Berarti bahwa model ini handal untuk prediksi curah hujan di Indramayu.

Kata kunci: fungsi pemulus, peubah indikator, model aditif VARX, ROC

ABSTRACT

The Indramayu district is a region of rice production center in West Java its production is contributing 35% of total province production. El Nino events in 1991, 1994, and 1997 caused economic reached 571 billion. Crop failure can be minimized if farmers are able to adapt to the changing seasons and have an understanding of weather prediction information. This research determines forecasting model and its development with Vector Autoregressive Exogenous (VARX). The VARX was compiled based on endogenous and exogenous variables, the endogenous variables are rainfall and exogenous variables are anomalous Sea Surface Temperature (SST) Nino 3.4, Dipole Mode Index (DMI), and Southern Oscillation Index (SOI). The model was called additive VARX

model. The novelty of the research is smoothing function and the indicator variable rainfall (wet, moist and dry months) in the additive VARX model. Correlation value-additive VARX model for each rainfall station Salam Darma and Gantar are 0,72 and 0,73, while the value of RMSEP 14,04 and 16,04. Further Relative Operating Characteristics (ROC) was used to determine the predictive skill VARX additive model. The ROC showed that the model has value only skill in certain months i.e. January, February, March, April, November, December to above normal. The model is reliable for the normal rainy season. This means that the model is reliable for predicting rainfall in Indramayu.

Key words: smoothing function, indicator variables, VARX additive models, ROC

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara tropis memiliki pola hujan dengan variasi yang besar dibandingkan unsur cuaca dan iklim di wilayah lainnya (BMG, 2003). Variasi yang besar ini terlihat pada suatu saat terjadi penurunan curah hujan yang mengakibatkan terjadinya kekeringan dan pada saat yang lain mengakibatkan tingginya curah hujan, sehingga dapat menimbulkan banjir (Allan, 2000).

Salah satu wilayah yang mengalami perubahan musim nyata yakni Kabupaten Indramayu. Salah satu kerugian akibat pergeseran musim yakni kehilangan investasi untuk penanaman, kerugian ekonomi akibat kegagalan panen. El Nino yang terjadi pada tahun 1991, 1994, dan 1997 mengakibatkan kerugian ekonomi dengan kegagalan panen di daerah ini mencapai 571 miliar rupiah, sedangkan kehilangan investasi yang dialami petani dapat mencapai 228 miliar (BMG, 2003). Resiko kegagalan panen tersebut dapat diminimalkan jika petani mampu beradaptasi dengan perubahan musim. Adaptasi dapat terjadi jika petani memiliki pemahaman yang cukup terhadap informasi peramalan cuaca. Pengetahuan tentang peramalan cuaca dan iklim menjadi sangat penting di bidang pertanian, karena cuaca dan iklim yang sulit diramalkan kejadiannya. Salah satu diantara model peramalan yang diperlukan dalam bidang pertanian yakni model peramalan curah hujan.

Model curah hujan yang banyak berkembang pada umumnya bersifat stokastik. Teknik analisis yang digunakan diantaranya analisis deret waktu (Dupe, 1999; Haryanto, 1999; Boer *et al.*, 1999) yang diacu dalam Boer 2006). Analisis dengan deret

waktu tunggal dapat dilakukan dengan model ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Beberapa penelitian model curah hujan dengan ARIMA diantaranya telah dilakukan oleh Mauludiyanto dkk., (2008, 2009), Kalfarosi, (2009), Nail, (2009).

Model ARIMA hanya digunakan untuk satu lokasi curah hujan. Model tersebut dapat dikembangkan untuk beberapa lokasi curah hujan yang disebut sebagai model *Vector Autoregressive* (VAR). Model VAR dapat digunakan untuk menentukan model curah hujan karena adanya korelasi curah hujan antar lokasi stasiun curah hujan dalam suatu wilayah. Model ini banyak dikembangkan dan dipergunakan dalam bidang ekonomi (Mac. Kinlay, 1997; Suharsono *et al.*, 2012), namun belum dikembangkan pada bidang klimatologi terutama untuk model curah hujan.

Pengembangan model VAR dapat dilakukan dengan menambahkan suatu peubah eksogen. Pengembangan ini disebut sebagai model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) (Sims, 1980). Tidak seperti model VAR, model VARX membedakan bahwa suatu peubah itu endogen dan eksogen. Peubah eksogen merupakan peubah yang berpengaruh terhadap peubah endogen dalam suatu sistem. Dalam hal ini, jika peubah endogennya merupakan curah hujan dari suatu lokasi tertentu, maka peubah eksogennya merupakan peubah yang mempengaruhi curah hujan. Model lain dengan variabel eksogen berbasis non-parametrik adalah model nonlinear *vector autoregressive network with exogenous* (NVARX) (Ali, 2009).

Faktor eksogen yang mempengaruhi curah hujan di Indonesia antara lain, *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) (Apriyatna dkk., 2010). Selain *El Nino* di Samudera Pasifik, terdapat pula fenomena interaksi lautan atmosfer lainnya yang dikenal dengan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Saji *et al.*, 1999; Webster *et al.*, 1999; dan Hendon, 2003). ENSO dan IOD mempunyai dampak yang kuat terhadap curah hujan daerah tropis termasuk keragaman curah hujan di Indonesia (Naylor *et al.*, 2007). Kedua fenomena tersebut semakin sering terjadi dengan kondisi musim yang semakin ekstrim dan durasi yang semakin panjang sehingga secara signifikan dapat menyebabkan penurunan curah hujan terutama di *musim peralihan* saat memasuki musim hujan (IPCC, 2007; Koesmaryono, 2009). Sebagai indikator untuk memantau kejadian ENSO, biasanya digunakan data *Sea Surface Temperature* (SST). Indikator ENSO lainnya yakni SOI (*Southern Oscillation Index*) yang mengacu pada perbedaan tekanan atmosfer antara Tahiti (di Timur Pasifik bagian ekuator) dan Darwin (di pantai utara Australia). Kawasan Nino 3.4 merupakan kawasan yang representatif mendefinisikan *EL Nino* (Dupe & Tjasyono, 1998). Seperti sudah diuraikan sebelumnya bahwa model curah hujan berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan berbasiskan deret waktu tunggal yakni Dupe (1999), Haryanto (1999), Boer *et al.*, (1999 yang diacu dalam Boer 2006), Mauludiyanto dkk., (2008, 2009), Kalfarosi (2009), Nail (2009).

Beberapa penelitian pemodelan curah hujan di Indramayu telah dilakukan diantaranya oleh Suciandini (2004) yang memodelkan curah hujan dengan *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) dan metode *Iterative Time Series MARS* (ItsMARS). Sutikno (2008) menyusun model *Statistical Downscaling* (SD), yakni model hybrid antara regresi splines adaptif berganda (RSAB) dan *adaptive splines threshold autoregression* (ASTAR). Apriyatna (2010) menyusun model peramalan curah hujan dengan jaringan syaraf tiruan/*Artificial Neural Network* (ANN). Model tersebut tidak berbasis deret waktu ganda. Model dengan deret waktu ganda dapat ditentukan dengan model *Vector Autoregressive Regressive* (VAR). Model VAR hanya menggunakan peubah endogen yakni peubah curah hujan di setiap lokasi stasiun curah hujan dalam satu wilayah. Model VAR belum pernah digunakan di bidang klimatologi. Selain itu, curah hujan juga dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain SST/anomali SST di kawasan Nino 3.4, SOI, dan IDM. Faktor ini dianggap sebagai peubah eksogen. Penambahan peubah eksogen pada model VAR disebut model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX). Dalam penelitian ini, model VARX dapat dikembangkan mengingat adanya indikasi pola data curah hujan yang nonlinier dan juga adanya indikasi bahwa pada musim lembab terjadi kenaikan atau penurunan curah hujan yang tinggi. Pengembangan menggunakan peubah indikator musim (musim hujan, musim kemarau dan musim lembab) dan fungsi *spline*. Model ini disebut model aditif-VARX yang merupakan keterbaruan dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan model prediksi curah hujan dengan model aditif-VARX.

BAHAN DAN METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data curah hujan, data anomali SST Nino 3.4, data SOI dan data IDM tahun 1980-2006, data tahun 1980-2000 sebagai data pemodelan dan data tahun 2001-2006 sebagai data prediksi. Sumber data diperoleh dari BMKG dan Lab. GEOMET FMIPA IPB.

Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini dibagi dalam dua bagian, yakni metode untuk menentukan model aditif VARX dan metode untuk mengevaluasi modelnya (metode evaluasi *skill* model).

Metode untuk menentukan model aditif VARX

Penentuan model aditif VARX menggunakan langkah-langkah berikut: Ordo pada model VAR bernilai 1 yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya oleh Saputro dkk. (2011b) digunakan untuk menentukan ordo model VARX. Dengan demikian, model VARX disusun berdasarkan ordo 1 dan peubah eksogen 3 atau dinyatakan dengan VARX(1,3). Model VARX(1,3) tersebut adalah

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + B_1 X_{t-1} + B_2 X_{t-2} + B_3 X_{t-3} + \varepsilon_t \dots \quad (1)$$

dengan Y_t merupakan vektor dari peubah endogen,

A_0 vektor *intercept*, A_1 merupakan matriks, dan X_{t-q} dengan $q = 1,2,3$, merupakan vektor dari peubah eksogen, ϵ_t merupakan vektor residual. Pada model (1) dapat dikembangkan dengan menambahkan peubah indikator yang menyatakan terjadinya hujan pada bulan basah, bulan kering, bulan transisi 1, dan bulan transisi 2. Secara lengkap peubah indikatornya dinyatakan pada Tabel 1.

Tabel 1. Peubah kategorik bulan basah, kering dan transisi

No	Kategorik	Peubah Indikator				Keterangan
		I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	
1	Bulan basah	1	0	0	0	Desember, Januari-Maret
2	Bulan transisi 1	0	0	1	0	April-Mei, bulan transisi ini merupakan bulan saat terjadi perubahan dari bulan basah ke bulan kering
3	Bulan kering	0	1	0	0	Juni-September
4	Bulan transisi 2	0	0	0	1	Oktober-November, bulan transisi ini merupakan bulan saat terjadi perubahan dari bulan kering ke bulan basah

Jika diambil sebagai peubah indikator dasarnya pada bulan transisi 1, maka susunan modelnya menjadi,

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + B_1 X_{t-1} + B_2 X_{t-2} + B_3 X_{t-3} + \gamma_1 I_1 + \gamma_2 I_2 + \gamma_3 I_3 + \gamma_4 I_4 + \epsilon_t \dots (2)$$

dengan, Y_t, Y_{t-1} = vektor berukuran $n \times 1$ yang berisi n peubah endogen yang masuk dalam model pada waktu t dan $t-1$; X_{t-q} = vektor berukuran $n \times 1$ yang berisi n peubah eksogen yang masuk dalam model pada waktu t dan $t-1, q = 1, 2, 3$; A_0 = vektor intersep berukuran $n \times 1$; A_1 = matriks koefisien berukuran $n \times n$; ϵ_t = vektor sisaan berukuran $n \times 1$ yakni $(\epsilon_{1t}, \epsilon_{2t}, \dots, \epsilon_{nt})^T$; t = periode amatan, dan indikator dinyatakan dengan

$$I_1 = \begin{cases} 1, & \text{jika bulan basah} \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases};$$

$$I_2 = \begin{cases} 1, & \text{jika bulan kering} \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases};$$

$$I_4 = \begin{cases} 1, & \text{jika bulan transisi 2} \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases}$$

Berdasarkan pengembangan model dengan *spline*, model (2) dapat dinyatakan sebagai,

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + B_1 X_{t-1} + B_2 X_{t-2} + B_3 X_{t-3} + \sum_{j=1}^p \gamma_j (Y_{t-j}) + \sum_{i=1}^q \delta_i (X_{t-i}) + \gamma_1 I_1 + \gamma_2 I_2 + \gamma_3 I_3 + \gamma_4 I_4 + \epsilon_t \dots (3)$$

Metode Evaluasi Skill Model

Data yang dipergunakan merupakan data curah hujan tahun 1980-2006. Langkah awal menentukan

kategori curah hujan: atas normal, normal dan bawah normal. Atas normal (A), jika nilai perbandingan terhadap rata-ratanya lebih besar dari 115 %, normal (N), jika nilai perbandingan terhadap rata-ratanya antara 85%-115%, dan Bawah Normal (BN), jika nilai perbandingan terhadap rata-ratanya kurang dari 85% (BMG, 2003).

Simulasi prediksi peluang terjadinya hujan di musim hujan dilakukan menggunakan sebaran normal dengan simulasi peluang Monte Carlo (menggunakan *add ons excel Crystal Ball (trial)*). Penyusunan tabel kontingensi (Tabel 2) antara hasil informasi prakiraan iklim musiman (simulasi) dan hasil observasi lapang (observasi) dilakukan dengan istilah-istilah (Wilks *et al.*, 1995): *hit (h)* merupakan prakiraan mengatakan kejadian akan terjadi, dan ternyata benar terjadi; *miss (m)* merupakan prakiraan mengatakan kejadian tidak akan terjadi, dan ternyata terjadi *false alarm (f)* merupakan prakiraan mengatakan kejadian akan terjadi, dan ternyata tidak terjadi; *correct negative (c)* merupakan prakiraan mengatakan kejadian tidak akan terjadi, dan ternyata benar tidak terjadi.

Tabel 2. Tabel Kontingensi

Observasi/simulasi	Y	TY
Y	H	m
TY	F	c

Nilai-nilai pada pada Tabel 2 dijadikan dasar untuk membuat tabel *False Alarm Rates (FAR)* dan *Hits Rates (HR)*. Perhitungan nilai HR didasarkan pada

$$HR = \frac{h}{(h+m)} \dots (3).$$

Nilai HR dimaksudkan untuk menunjukkan berapa bagian dari kejadian Y yang diramalkan dapat benar terjadi dengan tepat Y . Perhitungan nilai FAR didasarkan pada

$$FAR = \frac{f}{(h+f)} \dots (4).$$

Nilai FAR dimaksudkan untuk menunjukkan berapa bagian yang diperkirakan oleh Y namun dalam kenyataannya terjadi TY . Selanjutnya, menentukan banyaknya kejadian HR dan FAR untuk setiap kelompok nilai peluang dari 100%, 90%, ..., 0% berdasarkan persamaan (3) dan (4). Kurva *Relative Operating Characteristics (ROC)* disusun dengan cara melakukan *plotting* antara *False Alarm Rates (FAR)* sebagai absis dan *Hits Rates (HR)* sebagai ordinat. Luasan di bawah kurva ROC merupakan nilai keandalan prakiraan simulasi terjadinya hujan normal. Jika luasan kurva ROC bernilai lebih kecil atau sama dengan 50% artinya prakiraan iklim musiman yang disajikan atau dievaluasi tidak memiliki keandalan yang memadai. Kondisi prakiraan iklim musiman tersebut disebut sebagai *no-skill*. Semakin luas luasan di bawah kurva ROC, semakin tinggi tingkat keandalan informasi prakiraan iklim musiman yang dievaluasi. Semua langkah dalam metode ini, diuraikan secara terperinci oleh Mason and Graham (1999). Program ROC (*worksheet*) yang digunakan pada penelitian ini merupakan program yang dibuat oleh Rizaldi Boer

(Laboratorium Klimatologi GEOMET-FMIPA IPB) pada tahun 2006.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan metodologi penelitian, pembahasan dilakukan terhadap penyusunan model aditif VARX dan validasi modelnya dengan ROC. Penyusunan model VARX berdasarkan pewilayahan yang telah dilakukan Saputro dan Djuraidah (2011a), dengan hasil pewilayahan dinyatakan pada Tabel 3 serta pewilayahan dan pola curah hujan untuk setiap wilayah serta deliniasinya ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 3. Pewilayahan curah hujan

Wilayah	Stasiun Curah Hujan
1	Anjatan, Bugel, Tulung Kacang, Karang Asem, Lawang semut, Wanguk, Gabus Wetan, Cikedung, Tugu, Sukadana, Bondan, Sumur Watu, Kroya
2	Salam Darma, Gantar
3	Jatibarang, Juntinyuat, Kedokan Bunder, Lohbener, Sudi Mampir, Krangkeng, SudiKampiran, Losarang, Cidempet, Bangkir, Indramayu

Pemodelan VARX dengan anomali SST Nino 3.4, SOI dan DMI

Pemodelan VARX dalam uraian ini disusun atas pengaruh faktor lain yakni anomali SST di kawasan 3,4 (anomali SST 3,4), SOI dan DMI yang diduga mempengaruhi curah hujan pada masing-masing wilayah. Model selengkapnya pada Tabel 4.

Berdasarkan model penduganya, curah hujan wilayah 1 di stasiun Anjatan dan Sumurwatu dipengaruhi oleh peubah eksogen SOI. Model pada Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan SOI akan menaikkan curah hujan sebesar 0,029 dan 0,037 masing-masing untuk curah hujan di stasiun Anjatan dan Sumurwatu. Curah hujan wilayah 2 di stasiun Salam Darma dan Gantar, dipengaruhi peubah eksogen DMI. Berdasarkan model penduganya, nampak bahwa setiap kenaikan satu satuan DMI akan menurunkan curah hujan sebesar 1,41 dan 1,427

masing-masing untuk curah hujan di stasiun Salam Darma dan Gantar.

Curah hujan wilayah 3 di stasiun Kedokan Bunder dan Sudi Mampir dipengaruhi oleh SOI dan DMI. Berdasarkan model penduganya, nampak bahwa setiap kenaikan satu satuan SOI dan DMI akan menaikkan curah hujan sebesar 0,032 dan 0,055 masing-masing untuk curah hujan di stasiun Kedokan Bunder dan Sudi Mampir. Demikian juga, setiap kenaikan 1 satuan DMI akan menaikkan curah hujan sebesar 0,703 dan 0,897 masing-masing untuk stasiun Kedokan Bunder dan Sudi Mampir.

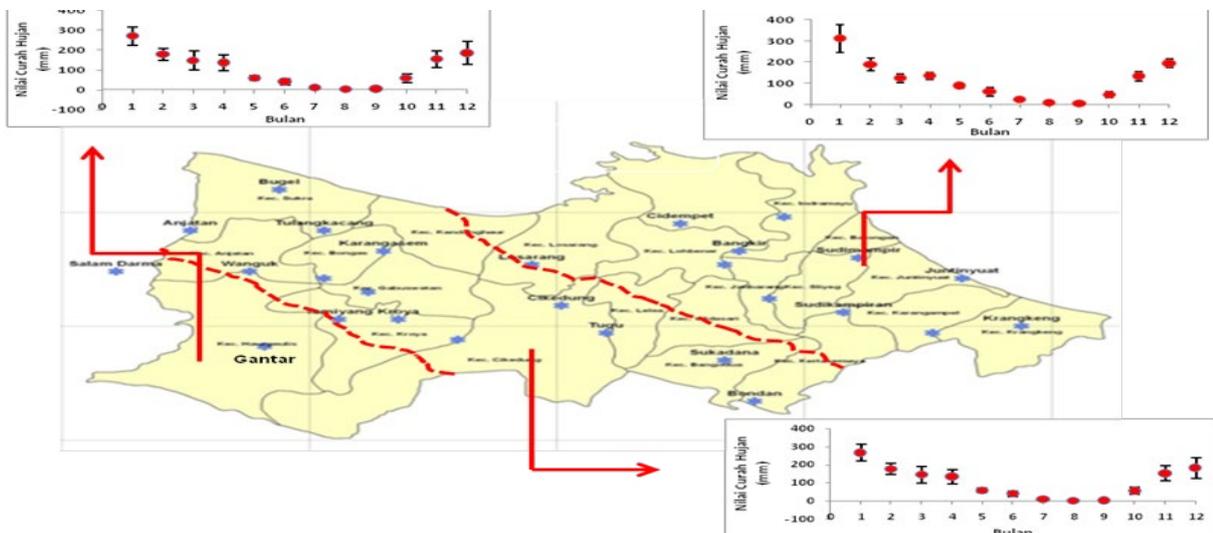
Nilai korelasi untuk masing-masing stasiun ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai rata-rata korelasi di wilayah 1 sebesar 0,67; wilayah 2 sebesar 0,61; wilayah 3 sebesar 0,59. Nilai RMSEP setiap wilayah, wilayah 1 sebesar 23,26; wilayah 2 sebesar 20,94; wilayah 3 sebesar 47,97.

Tabel 5. Korelasi dan RMSEP model VARX (1) peubah eksogen anomali SST Nino 3,4; SOI dan IDM

Wilayah	Lokasi stasiun curah hujan	Korelasi	RMSEP
1	Anjatan	0,71	16,01
	Sumur Watu	0,62	30,50
2	SalamDarma	0,60	18,38
	Gantar	0,61	23,49
3	Kedokan Bunder	0,63	16,11
	Sudi Mampir	0,54	79,84

Pemodelan Aditif-VARX

Hubungan curah hujan antara satu stasiun dengan curah hujan di stasiun lainnya dalam satu wilayah satu periode waktu sebelumnya, dengan SST di kawasan Nino 3,4; SOI dan DMI periode waktu sebelumnya mengindikasikan adanya hubungan nonlinier. Oleh karena itu, model yang ditunjukkan pada Tabel 5 dapat dikembangkan dengan menambahkan suatu fungsi nonlinier. Salah satu model yang dapat mengidentifikasi dan mengelompokkan fungsi nonlinier



Gambar 1. Pewilayahan curah hujan, pola setiap wilayah dan Deliniasinya

Tabel 4. Model VARX (1) setiap wilayah dengan peubah eksogen SOI dan DMI

No	Stasiun	Model VAR
1	Wilayah 1	$\widehat{AN}_t = 2.201 + 0.156 Anj_{t-1} + 0.134 Bug_{t-1} - 0.005 Tikac_{t-1} + 0.170 Ciked_{t-1} - 0.036 Kro_{t-1}$ $- 0.222 Sukad_{t-1} - 0.260 SmrWatu_{t-1} + 0.155 Tugu_{t-1} - 0.064 KrAsem_{t-1}$ $+ 0.052 LWSemut_{t-1} - 0.028 Wanguk_{t-1} + 0.236 GBWet_{t-1} + 0.252 Bond_{t-1} + 0.029 SOI_{t-1}$ $Smr\widehat{Watu}_t = 3.712 + 0.185 Anj_{t-1} - 0.229 Bug_{t-1} + 0.170 Tikac_{t-1} + 0.078 Ciked_{t-1} + 0.008 Kro_{t-1}$ $- 0.118 Sukad_{t-1} - 0.008 SmrWatu_{t-1} + 0.188 Tugu_{t-1} - 0.139 KrAsem_{t-1}$ $- 0.146 LwSemut_{t-1} + 0.233 Wanguk_{t-1} + 0.254 GBWet_{t-1} + 0.173 Bond_{t-1} + 0.037 SOI_{t-1}$
2	Wilayah 2	$\widehat{SLM}_t = 2.692 + 0.417 SLM_{t-1} + 0.177 GAN_{t-1} - 1.41 DMI_{t-1}$ $\widehat{GAN}_t = 2.904 + 0.309 GAN_{t-1} + 0.341 SLM_{t-1} - 1.427 DMI_{t-1}$
3	Wilayah 3	$Ked\widehat{Bund}_t = 2.705 + 0.029 Bang_{t-1} + 0.164 Cidem_{t-1} + 0.169 Indra_{t-1} + 0.104 Jatibar_{t-1} - 0.120 Junti_{t-1}$ $+ 0.288 KedBund_{t-1} - 0.118 Loh_{t-1} + 0.045 Los_{t-1} - 0.013 SudiMamp_{t-1} + 0.006 Krang_{t-1}$ $+ 0.015 SudiKamp_{t-1} + 0.032 SOI_{t-1} + 0.703 DMI_{t-1}$ $Sudi\widehat{Mamp}_t = 4.449 - 0.011 Bang_{t-1} + 0.291 Cidem_{t-1} - 0.101 Indra_{t-1} + 0.145 Jatibar_{t-1} - 0.173 Junti_{t-1}$ $+ 0.116 KedBund_{t-1} - 0.337 Loh_{t-1} + 0.087 Los_{t-1} + 0.254 SudiMamp_{t-1} - 0.005 Krang_{t-1}$ $+ 0.294 SudiKamp_{t-1} + 0.055 SOI_{t-1} + 0.897 DMI_{t-1}$

ini yakni model aditif. Aspek unik dari model aditif, bahwa fungsi nonparametriknya dapat diduga dengan menggunakan penghalus diagram pencar yang merupakan dasar dari algoritma model aditif.

Metode pemulusan yang dapat memberikan hasil numerik yang lebih baik yakni penghalus *spline* dengan algoritma *backfitting* (Hastie, 1990). Selain itu, peubah indikator seperti yang diuraikan pada langkah penelitian ditambahkan dalam model aditif. Pengembangan pemodelan seperti ini dikatakan sebagai model aditif-VARX.

Proses pemulusan dengan *spline* untuk curah hujan di stasiun Salam Darma di masing-masing lagnya mempergunakan knot masing-masing, SLM_{t-1} dengan 4 knot dan GAN_{t-1} dengan 4 knot, masing-masing nilai *GCV* (*generalized cross validation*) sebesar 9,62 dan 10,86. Model pendugaan curah hujan di stasiun Salam Darma ditunjukkan sebagai, $\widehat{SLM}_t = 9.954 + 0.368 GAN_{t-1} + 0.166 SLM_{t-1} - 0.0213 IDM_{t-1} + \hat{\gamma}_1 I_1 + \hat{\gamma}_2 I_2 + \hat{\gamma}_4 I_4$ dengan I_1, I_2 dan I_4 merupakan peubah indikator yang menyatakan bulan basah bulan kering, bulan transisi 2 (Okt-Nov, bulan kering ke bulan basah). Pendugaan parameter model ditunjukkan pada Tabel 6. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 6 dapat dinyatakan bahwa jika curah hujan terjadi pada bulan tertentu dan peubah indikatornya menyatakan bulan basah, lembab, dan kering, maka adanya peubah indikator tersebut dapat menurunkan nilai curah hujan, masing-masing sebesar 6,56, 5,61, dan 3,86. Model pendugaan curah hujan di stasiun Gantar ditunjukkan sebagai, $\widehat{GAN}_t = 7.799 + 0.290 GAN_{t-1} + 0.272 SLM_{t-1} - 0.381 IDM_{t-1} + \hat{\delta}_1 I_1 + \hat{\delta}_2 I_2 + \hat{\delta}_4 I_4$ dengan I_1, I_2 dan I_4 merupakan peubah indikator yang menyatakan bulan basah, bulan kering, dan bulan transisi 2 (perpindahan dari bulan kering ke bulan basah). Hasil pendugaan parameter ditunjukkan pada Tabel 6. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 6 dapat dinyatakan bahwa jika curah hujan terjadi pada bulan tertentu dan peubah indikatornya menyatakan bulan basah, kering, dan bulan transisi

2, maka dapat menurunkan nilai curah hujan masing-masing sebesar 3,90, 3,77, dan 1,45.

Evaluasi Skill Model

Evaluasi model selain dilakukan dengan mengetahui nilai korelasi dan nilai RMSEP juga dilakukan dengan ROC. ROC merupakan metode yang sangat fleksibel untuk menilai tingkat *skill* sistem peramalan baik yang bersifat dikotomi (deterministik), kategorik, continue, atau peluang (Mason and Graham, 1999; 2002) ROC menggambarkan berapa besar peluang suatu prakiraan itu tidak benar. Pendekatan ini merupakan pendekatan yang direkomendasikan oleh *World Metereological Organization* (WMO).

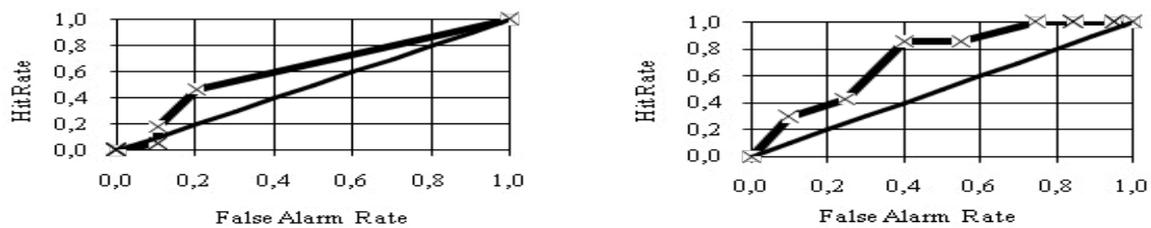
Skor ROC banyak dibahas oleh ilmuwan pada berbagai bidang khususnya untuk peluang prediksi. Proses verifikasi prediksi merupakan proses yang terus berkembang dan memerlukan metode serta teknik yang terus diperdalam (Casati *et al.*, 2008) dengan memperhatikan hal-hal yang mungkin bisa mempengaruhi kualitas prediksi. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi *skill* model aditif VARX untuk menentukan nilai *skill* dan keandalan prediksinya.

ROC disusun dengan melakukan simulasi berdasarkan kejadian atas normal dan bawah normal. Analisis skill prediksi ditinjau pada kemampuan model prediksi ketika curah hujan maju dari normal dan mundur dari normal. Simulasi dilakukan terhadap model VARX dan model aditif-VARX pada dua stasiun curah hujan di wilayah 2 yakni stasiun Salam Darma dan Gantar. Kurva ROC pada bulan Januari atas normal dan bawah normal untuk stasiun Salam Darma dengan model aditif-VARX ditunjukkan pada Gambar 2.

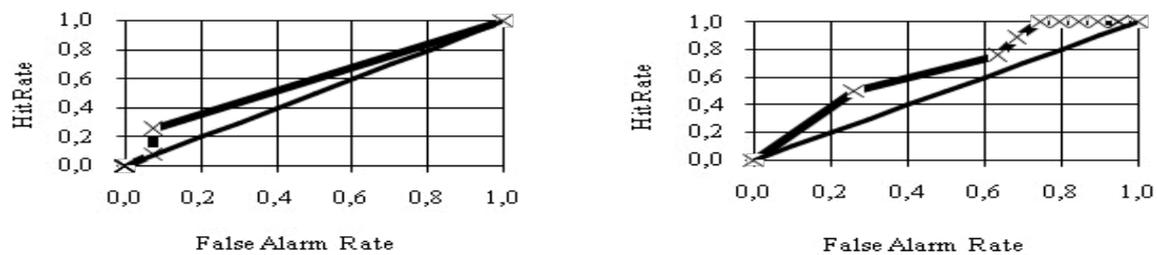
Nilai *skill* yang luasannya tampak pada Gambar 2 menunjukkan nilai skill 0,62 (atas normal) dan 0,66 (bawah normal). Kurva ROC pada bulan Januari atas normal dan bawah normal untuk stasiun Gantar dengan model aditif-VARX ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 6. Penduga parameter peubah indikator

No	Lokasi stasiun curah hujan	Indikator	Nilai koefisien	Indikator Bln Basah (I ₁)	Indikator Bln Kering (I ₂)	Indikator Bln Transisi Okt-Nov (I ₄)
1	Salam Darma	Basah	-6.559	1	0	0
		Kering	-5.611	0	1	0
		Transisi2	-3.858	0	0	1
2	Gantar	Basah	-3.902	1	0	0
		Kering	-3.767	0	1	0
		Transisi2	-1.453	0	0	1



Gambar 2. Kurva ROC atas normal dan bawah normal bulan Januari untuk stasiun Salam Darma



Gambar 3. Kurva ROC atas normal dan bawah normal bulan Januari untuk stasiun Gantar

Tabel 7. Peramalan skill model VARX dan Aditif-VARX curah hujan (atas normal)

Model	Bulan											
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Salam Darma												
Model VARX	0.52	0.4	0	0.76	0	0	0	0.62	0	0.5	0.5	0.52
Model AVARX	0.62	0.4	0.54	0.49	0	0	0	0.62	0	0.5	0.64	0.6
Gantar												
Model VARX	0.56	0.52	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0.74
Model AVARX	0.52	0.68	0.68	0.36	0	0	0	0	0	0.62	0.72	0.72

Tabel 8. Peramalan skill model VARX dan Aditif-VARX curah hujan (bawah normal)

Model	Bulan											
	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Salam Darma												
Model VARX	0.62	0.4	0.5	0.48	0.56	0.64	0	0	0	0	0	0
Model VARX	0.66	0.26	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.6	0	0	0	0.6
Gantar												
Model VAR	0.52	0.5	0.66	0.5	0.5	0.52	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Model VARX	0.68	0.44	0.72	0.44	0	0.68	0.56	0.56	0.8	0.56	0.76	0.84

Nilai *skill* yang luasannya tampak pada Gambar 3 menunjukkan nilai *skill* 0,52 (atas normal) dan 0,68 (bawah normal). Hasil simulasi kejadian atas normal untuk seluruh bulan (Januari-Desember) ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan tabel tersebut, model VARX pada stasiun Salam Darma yang memiliki nilai *skill* > 0,5 terjadi pada bulan April dan Agustus. Sedangkan, model aditif VARX yang memiliki nilai *skill* > 0,5 terjadi pada bulan Januari, Agustus, November dan Desember. Pada bulan selainnya, model tidak memiliki *skill*.

Model VARX pada stasiun Gantar yang memiliki nilai *skill* > 0,5 terjadi pada bulan Januari, Maret dan Desember. Sedangkan, model aditif VARX yang memiliki nilai *skill* > 0,5 terjadi pada bulan Pebruari, Maret, Oktober, November dan Desember. Pada bulan selainnya, model tidak memiliki *skill*.

Hasil simulasi kejadian bawah normal ditunjukkan pada Tabel 8. Berdasarkan tabel tersebut, model VARX pada stasiun Salam Darma yang memiliki nilai *skill* > 0,5 terjadi pada bulan Januari dan Juni. Sedangkan, model aditif VARX yang memiliki nilai *skill* > 0,5 terjadi hanya pada bulan Januari. Pada bulan selainnya, model tidak memiliki *skill*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model memiliki nilai *skill* hanya pada bulan-bulan tertentu. Model aditif-VARX memiliki nilai *skill* pada bulan Januari dan Pebruari untuk atas normal. Model hanya handal untuk bulan basah (Januari-Pebruari) atas normal.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian, model aditif-VARX yang memanfaatkan fungsi pemulus dan menggunakan peubah indikator curah hujan, menjadikan model bersifat fleksibel. Fleksibilitas dengan ini dikarenakan adanya hubungan fungsional antara respon serta penjas yang berbentuk parametrik dan nonparametrik. Penentuan model aditif VARX dilakukan terhadap tiga daerah pelayaran hujan, daerah pelayaran 2 didiskusikan dan kebaikan model diukur berdasarkan nilai korelasi dan RMSEP. Nilai korelasi model aditif-VARX untuk masing-masing stasiun curah hujan Salam Darma dan Gantar adalah 0,72 dan 0,73, sedangkan nilai RMSEP 14,04 dan 16,04. Selanjutnya *Relative Operating Characteristics* (ROC) digunakan untuk menentukan *skill* prediksi model aditif VARX. Hasil ROC menunjukkan bahwa model memiliki nilai *skill* hanya pada bulan-bulan tertentu yakni pada bulan Januari, Pebruari, Maret, April, November, Desember untuk atas normal. Model handal untuk musim hujan atas normal. Berarti bahwa model ini handal untuk prediksi curah hujan di Indramayu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada DIKTI yang telah membantu biaya penelitian melalui Hibah Disertasi Doktor.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A. 2009. Nonlinear Multivariate Rainfall-stage Model for Large Wetland Systems. *Journal of Hydrology*, 374: 338-350.
- Allan, R. 2000. ENSO and Climatic Variability in The Past 150 years, in ENSO: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts, Diaz, H & Markgraft, V. (Eds), pp. 3-55. Cambridge: Univ. Press.
- Apriyatna, Y., Yonny, K., Irsal, L., & Edwin, A. 2010. Penetapan Kalender Tanam Padi Berdasarkan Fenomena ENSO (El Nino Southern Oscillation) dan IOD (Indian Ocean Dipole) [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- BMG [Badan Metereologi dan Geofisika]. 2003. Pengkajian prakiraan Musim untuk Pertanian di Kabupaten Indramayu. Laporan Akhir. Badan Metereologi dan Geofisika, Jakarta.
- Boer, R., Notodiputro, K.A., & Las, I. 1999. Prediction of daily rainfall characteristics from montly climate indices. *Proceeding of The Second International Conference on Science and Technology for the Assessment of Global Climate Change and Its Impacts on Indonesian Maritime Continent*, 29 November-1 December.
- Boer, R. 2006. Metode Mengevaluasi Keandalan Model Prakiraan Musim. Paper disajikan dalam acara Pelatihan Downscaling Model, Badan Metereologi dan Geofisika, Jakarta 16-18.
- Casati 2008. Forecast Verification: Current Status and Future Directions. *Meteorol. Appl*, 15: 3-18.
- Dupe, Z.L & Tjasyono, B. 1998. El Nino Dampaknya terhadap Cuaca dan Musim di Indonesia. Semiloka El-Nino. Bandung: Jurusan Geofisika dan Metereologi ITB.
- Dupe, Z.L. 1999. Prediction Nino3.4 SST Anomaly Using Simple Harmonic Model. Paper presented at The Second International Conference on Science and Technology for the Assesmant of Global Climate Change and Its Impacts on Indonesian Maritime Continent, 29 November-01 Desember.
- Haryanto, U. 1999. Response to Climate Change: Simple Rainfall Prediction Based on Southern Ossilation Index. Paper presented at The Second International Conference on Science and Technology for the Assesmant of Global Climate Change and Its Impacts on Indonesian Maritime Continent, 29 November-01 Desember.

- Hastie, T.J, & Tibshirani, R.J. 1990. *Generalized Additive Models*. Washington: Chapman & Hall.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian Rainfall Variability: impacts of ENSO and Local Air-sea 'Interaction, *Journal of Climate*, 16: 1775-1790.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kalfarosi, D. 2009. *Pemodelan Curah Hujan dan Redaman Hujan Dengan Model ARIMA di Surabaya [tesis]*. Surabaya: Institut Teknologi 10 November Surabaya (ITS).
- Koesmaryono, Y., Las, I., Aldrian E, Runtuuwu, E., Pramudia, A., Apriyana, Y. & Trinugroho, W. 2009. *Laporan Hasil Kegiatan. Pengembangan Standar Operasional Prosedur. Adaptasi Kalender Tanaman Padi terhadap ENSO-IOD Berbasis Sumberdaya Iklim dan Air. Laporan KKP3T. Litbang DEPTAN IPB. (Tidak dipublikasikan)*.
- Mac. Kinlay, A.C. 1997. Event Studies in Economics and Finance. *Journal of Economic Literature*, 35(1): 13-39.
- Mason, S.J. & Graham, N.E. 1999. Conditional Probabilities, Relative Operating Characteristics, and Relative Operating Levels. *Weather and Forecasting*, 14: 713-725.
- Mason, S.J. & Graham, N.E. 2002. Area Beneath The Relative Operating Characteristics (ROC) and Relative Operating Levels (ROL) Curves: Statistical Significance and Interpretation. *Meteorology Soc*, 128: 2145-2166.
- Mauludiyanto, A., Hendrantoro, G., Purnomo, M.H., & Suhartono. 2008. *Pemodelan ARIMA dan Deteksi Outlier Data Curah Hujan sebagai Evaluasi Sistem Radio Gelombang Milimeter, submit ke JUTI (Jurnal Teknologi Informasi), FTI ITS Surabaya, Desember*.
- Mauludiyanto, A., Hendrantoro, G., Hery, P.M., & Suhartono. 2009. *Pemodelan Varima dengan Efek Deteksi Outlier Terhadap Data Curah Hujan. Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*. 7(3).
- Nail, P.E. & Momagi, M. 2009. *Time Series Analysis Model For Rainfall Data In Jordan: Case Study For Using Time Series Analysis*. *American Journal of Environmental Sciences*, 5(5): 559-604.
- Naylor, R.L., Battisti, D.S., Vimont, D.J., Falcon, W.P., & Burke, M.B. 2007. *Assessing the Risks of Climate Variability and Climate Change for Indonesian Rice Agriculture*, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 104: 7752-7757.
- Saji, N.H., Goswani, B.N., Vinayachandran, P.N., & Yamagata, T. 1999. *A Dipole in The Tropical Indian Ocean*. *Nature*, 401: 360-363.
- Saputro, D.R.S, & Djuraidah A. 2011a. *Analisis Profil Pewilayahan Curah Hujan, Konferensi Nasional Sains & Aplikasinya di UNISBA, Bandung, 27 Juni 2011*.
- Saputro, D.R.S., Wigena, A.H., & Djuaridah, A. 2011b. *Model Vektor Autoregressive untuk Peramalan Curah Hujan di Indramayu*. *Forum Statistika dan Komputasi*, 16 (2).
- Suciantini. 2004. *Evaluasi Prakiraan Sifat Hujan dan Penyusunan Model Prediksi Musim: Studi Kasus Kabupaten Indramayu [Tesis]*. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Suharsono, A., Guritno, S. & Subanar. 2012. *Vector Autoregressive Modeling for Inflation Data in Indonesia*. *Journal of Basic Applied Scientific Research*, 2 (1): 1-4.
- Sutikno. 2008. *Statistical Downscaling Luaran GCM Dan Pemanfaatannya untuk Peramalan Produksi Padi [Disertasi]*. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sims, C.A. 1980. *Macroeconomics and Reality*. *Econometrica*, 48 (1): 1-48.
- Webster, R.P.J, Moore, A.M, Loschnigg, J.P, & Leben, R.R. 1999. *Coupled Ocean-Atmosphere Dynamics in The Indian Ocean During 1997-1998*, *Nature*, 401: 356-359.
- Wilks, D.S. 1995. *Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction*. New York: Academic Press.