

Analisa Kointegrasi dan Kausalitas Pada Data Spasial Curah Hujan di Surabaya

Sis Soesetijo¹, Achmad Mauludiyanto², Gamantyo Hendrantoro²

¹Teknik Elektro Universitas Surabaya

ssoesetijo@ubaya.ac.id

²Teknik Elektro ITS Surabaya

{maulud,gamantyo}@ee.its.ac.id

Abstrak

Karakteristik curah hujan yang berubah sebagai fungsi waktu dan lokasi membutuhkan pemodelan yang mampu mewakili sifatnya yaitu model Vector Autoregressive (VAR). Uji Kausalitas untuk mencari hubungan timbal balik (interrelationship) antara variabel pada satu lokasi curah hujan dengan lokasi yang lain. Apakah masing-masing variabel di masa lampau berpengaruh signifikan atau tidak terhadap variabel di lokasi curah hujan yang lain. Uji ini dilakukan dengan menggunakan Granger Causality Test pada model VAR dan untuk mengetahui hubungan keseimbangan antar lokasi hujan apakah berlangsung jangka panjang atau tidak digunakan Johansen Cointegration Test. Pada hasil uji diperoleh bahwa hanya model yang terintegrasi $I(1)$ saja yang mempunyai hubungan keseimbangan jangka panjang dan terjadi kasus Granger-Cause akibat pengaruh arah angin.

Kata kunci: VAR, Granger Causality, Johansen Cointegration

1. Pendahuluan

Fade Mitigation Techniques (FMT), merupakan suatu teknik pada sistem komunikasi radio yang dapat melakukan kompensasi pengaruh efek redaman akibat hujan. Agar dapat mengendalikan faktor FMT secara tepat, membutuhkan pengetahuan yang tepat dan baik tentang karakteristik statistik dan dinamis dari curah dan redaman hujan, di mana hal ini merupakan sumber utama dari gangguan kanal di atas frekuensi 10 GHz. Karakteristik curah hujan yang dibutuhkan adalah karakteristik yang mampu mewakili sifat curah hujan secara komprehensif, yang melibatkan fungsi waktu dan lokasi (space-time model)[1].

Beberapa penelitian yang terkait dengan pemodelan curah hujan di Surabaya telah banyak dilakukan. Pemodelan curah hujan tersebut berbasis pada proses auto-regressive (AR) mengasumsikan kondisi hujan yang stasioner padahal hujan merupakan proses yang tidak stasioner [2][3]. Penelitian selanjutnya memodelkan curah hujan sebagai proses auto-regressive moving-average (ARMA) [4]. Pada model fuzzy ARMA [5], setiap event curah hujan dimodelkan sebagai variabel fuzzy. Deret waktu fuzzy dari curah hujan ini yang akan

dimodelkan sebagai proses fuzzy ARMA. Jadi dengan model fuzzy ARMA dimungkinkan melakukan satu pemodelan untuk seluruh event curah hujan. Selain itu pada model fuzzy ARMA, curah hujan dapat diasumsikan sebagai proses yang stasioner atau tidak stasioner. Dari penelitian [2]-[5] di atas pemodelan curah hujan di Surabaya masih sebatas fungsi deret waktu univariate tanpa melibatkan fungsi spasial dari curah hujan dengan data curah hujan hanya diambil dari satu tempat saja.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan multivariate time series terhadap data curah hujan yang diambil dari 4 lokasi pengukurun (lokasi rain gauge). Pemodelan multivariate time series yang tepat pada kasus demikian adalah model Vector AR atau Vector ARMA. Untuk alasan empiris dan praktis maka digunakan pemodelan VAR. Pada makalah ini digunakan data event curah hujan 2 hari yaitu 3 event curah hujan tanggal 13 Januari 2009 dan 3 event curah hujan tanggal 22 Januari 2009 pada masing-masing lokasi rain gauge. Event curah hujan mempunyai makna bahwa data curah hujan diambil dari awal mulai hujan dan sampai berakhirnya hujan tersebut.

Untuk mengetahui hubungan variabel antar lokasi rain gauge maka digunakan uji Granger Causality. Uji ini untuk mencari hubungan timbal balik (interrelationship) antara variabel pada satu lokasi dengan lokasi yang lain. Apakah masing-masing variabel di masa lampau berpengaruh signifikan atau tidak terhadap variable di lokasi yang lain, atau hanya berpengaruh pada dirinya sendiri saja Hasil uji ini membuktikan bahwa curah hujan bersifat tidak homogen dan berubah menurut fungsi waktu dan lokasi.

Sedangkan uji kointegrasi dilakukan untuk mengetahui hubungan keseimbangan jangka panjang antar variabel model VAR pada masing-masing lokasi dengan menggunakan uji Kointegrasi Johansen.

2. Model VAR

2.1 Spesifikasi, Asumsi dan Estimasi Model VAR

Bentuk dasar dari VAR terdiri dari K variabel $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{kt}, \dots, y_{Kt})$ untuk $k = 1, \dots, K$. Proses VAR(p) didefinisikan sebagai :

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + CD_t + u_t$$

(2.1)

di mana A_i adalah matrik koefisien ($K \times K$) untuk $i = 1, \dots, p$ dan u_t merupakan dimensi K dari proses

white noise yang mempunyai matrik kovarian $E(u_t u'_t) = \Sigma_u$. Matrik C adalah matrik koefisien yang berdimensi $(K \times M)$ dan D_t merupakan matrik $(M \times 1)$.

Persamaan (2.1) dapat ditulis dalam bentuk polinomial lag $A(L) = (I_K - A_1 - \dots - A_p)$ sebagai berikut :

$$A(L) y_t = CD_t + u_t \quad (2.2)$$

Salahsatu karakteristik dari proses VAR(p) adalah stabilitasnya. Artinya bahwa prosesnya menghasilkan deret waktu yang stasioner dengan rata-rata yang tidak berubah pada fungsi waktu.

Untuk mendapatkan parameter orde p dari VAR(p) dan koefisien A dari model, berikut langkah-langkah untuk identifikasi dan estimasinya, prosedur ini secara umum sama dengan model ARMA :

- Uji Stasioner yaitu uji untuk melihat apakah data yang akan diamati stasioner atau tidak. Apabila belum stasioner maka perlu dilakukan penurunan pertama (*first differential*) agar diperoleh stasioner pada orde pertama. Uji stasioner yang umum digunakan adalah Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test.
- Proses Estimasi yaitu proses untuk menentukan koefisien model VAR(p) yang diamati.
- Akaike Information Criterion (AIC) dari masing-masing regresi untuk menjamin bahwa residual yang dihasilkan bersifat White Noise. Tes ini untuk menentukan lag mana yang paling relevan dipakai dalam model.

2.2 Uji Granger Causality

Tujuan dari uji kausalitas menggunakan Granger Causality adalah mendeteksi ada tidaknya hubungan sebab-akibat (causalities) antara variabelnya. Variabel x dikatakan “granger-causes” variabel y, apabila variabel x membantu memprediksi variable y.

Untuk melakukan kedua uji tersebut, vector dari variabel y_t dibagi 2 subvektor y_{1t} dan y_{2t} dengan dimensi $(K_1 \times 1)$ dan $(K_2 \times 1)$ dengan $K = K_1 + K_2$. Proses VAR (p) dapat dituliskan kembali :

(2.3)

Subvektor y_{1t} tidak “granger-cause” y_{2t} apabila $\alpha_{21,t} = 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$ dan sebaliknya Subvektor y_{1t} “granger-cause” y_{2t} apabila $\alpha_{21,t} \neq 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$. Dengan demikian analisis Causality akan menguji apakah sebuah variabel dapat membantu memprediksi variabel yang lain.

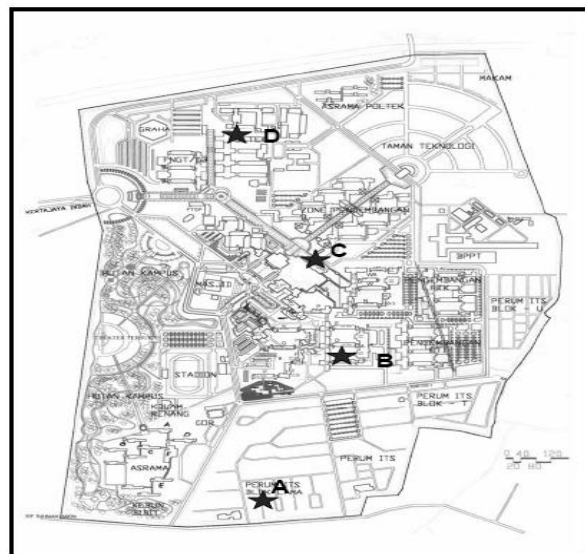
2.3 Uji Kointegrasi Johansen

Kombinasi linier dari 2 atau lebih deret waktu yang non-stasioner akan membentuk sebuah deret stasioner. Apabila diperoleh kombinasi linier stasioner, maka deret waktu yang non stasioner yang

membentuknya tersebut dikatakan terintegrasi I(1). Asumsi bahwa y_{1t} dan y_{2t} adalah terintegrasi pada orde yang sama, $y_{1t} \sim I(1)$ dan $y_{2t} \sim I(1)$. Maka y_{1t} dan y_{2t} dikatakan terintegrasi jika terdapat konstanta β sedemikian hingga diperoleh $y_{1t} - \beta y_{2t}$ adalah I(0).

3. Sistem Pengukuran

Pada penelitian ini menggunakan rain gauge dengan tipe 8” Tipping bucket model 260-2501. Lokasi pengukuran curah hujan adalah di kota Surabaya. Lokasi yang diambil untuk penempatan rain gauge pada penelitian tampak pada gambar 1 berikut yaitu gedung PENS (D), gedung perpustakaan (C), gedung Elektro (B) dan gedung Medical Center (A). Data pengukuran curah hujan yang tercatat pada rain gauge adalah txt. Untuk mendapatkan nilai curah hujan dalam mm/jam perlu dikonversikan dari data txt dengan periode sampling 60 detik.



Gambar 1. Lokasi Rain Gauge di kampus ITS

4. Hasil dan Pembahasan

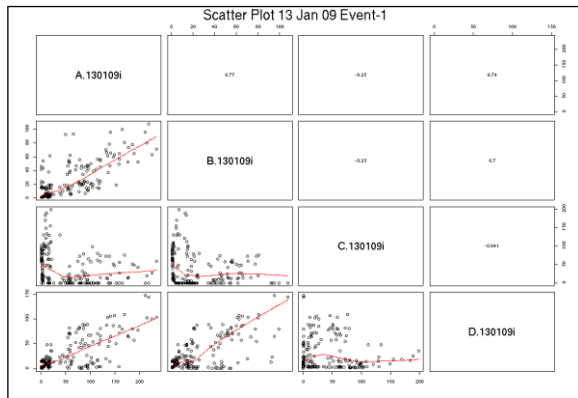
Pada makalah ini hasil yang dibahas dan dianalisa adalah event curah hujan pada ke 4 lokasi rain gauges yang terjadi pada tanggal 13 Januari (3 event) dan 22 Januari 2009 (3 event). Analisis menggunakan software open source R versi 2.8.1 pada pada sistem operasi Mandriva Linux 2008.

4.1 Korelasi Spasial Curah Hujan

Event curah hujan merupakan kejadian dimana awal hujan terjadi dan berakhir. Antar event hujan tidak saling terkait, karena antar event hujan terdapat periode tidak terjadi hujan (periode kering). Agar periode kering tidak mempengaruhi dalam pemodelan maka pemodelan dan analisis uji granger-causality hanya memasukkan periode dimana hanya terjadi hujan saja yang disebut event curah hujan. Pada satu hari bisa saja terjadi beberapa kali event hujan atau bahkan tidak terjadi hujan sama sekali.

Pada gambar 2 berikut ini merupakan grafik

scatter plot waktu event-1 hujan pada tanggal 13 Januari 2009. Hasil lengkap korelasi spasial masing-masing event dari uji scatter plot dirangkum pada tabel 3 dan 4 berikut ini. Sedangkan karakteristik hujan (curah hujan dalam mm/jam) dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.



Gambar 2. Scatter Plot Event-1 pada hujan 13 Jan '09

Tabel 1. Karakteristik Hujan 13 Jan 2009

Item	Karakteristik Hujan 13 Jan '09		
	Event-1	Event-2	Event-3
R_{max}	234	205	44
R_{min}	0.17	0.28	0.15
R_{ave}	54	54	7
Durasi	197'	188'	101'

Tabel 2. Karakteristik Hujan 22 Jan 2009

Item	Karakteristik Hujan 22 Jan '09		
	Event-1	Event-2	Event-3
R_{max}	160	106	162
R_{min}	0.17	0.19	0.19
R_{ave}	8.4	8.6	19
Durasi	383'	188'	204'

Tabel 3. Korelasi Spasial Hujan 13 Jan 2009

Lokasi	Korelasi Spasial Hujan 13 Jan 2009		
	Event-1	Event-2	Event-3
A-B	0.77	-0.3	-0.39
A-C	-0.25	-0.22	0.68
B-C	-0.25	0.92	0.65
A-D	0.74	0.62	0.68
B-D	0.7	-0.46	-0.38
C-D	-0.04	-0.4	-0.38

Pada tabel 3 nampak korelasi spasial pada tiap-tiap event hujan 13 Jan 2009, sedangkan pada

tabel 4 menunjukkan korelasi spasial pada masing-masing event hujan 22 Jan 2009.

Tabel 4. Korelasi Spasial Hujan 22 Jan 2009

Lokasi	Korelasi Spasial Hujan 22 Jan 2009		
	Event-1	Event-2	Event-3
A-B	0.24	-0.08	1
A-C	-0.02	-0.13	1
B-C	-0.05	-0.13	1
A-D	-0.09	-0.15	1
B-D	0.2	0.13	1
C-D	-0.1	0.14	1

4.2 Uji Stasioner dan Model VAR(p)

Untuk memperoleh model VAR(p) yang memiliki stabilitas yang baik, artinya bahwa proses pemodelannya menghasilkan deret waktu yang stasioner dengan rata-rata yang tidak berubah pada fungsi waktu. Oleh karena itu diperlukan uji stasioner terhadap data curah hujan pada masing-masing lokasi rain gauges. Uji stasioner menggunakan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF).

Tabel 5. Uji ADF pada Event Hujan 13 Jan 2009

Lokasi	ADF Test Hujan 13 Jan 2009		
	Event-1	Event-2	Event-3
A	I(0)	I(1)	I(1)
B	I(0)	I(1)	I(1)
C	I(0)	I(1)	I(1)
D	I(0)	I(1)	I(1)

Tabel 6. Uji ADF pada Event Hujan 22 Jan 2009

Lokasi	ADF Test Hujan 22 Jan 2009		
	Event-1	Event-2	Event-3
A	I(0)	I(0)	I(0)
B	I(0)	I(0)	I(0)
C	I(0)	I(0)	I(0)
D	I(0)	I(0)	I(0)

Pada uji ADF pada semua event hujan diperoleh hasil seperti tertera pada tabel 5 dan 6. Hanya event-2 dan event-3 pada hujan 13 Januari 2009 yang terintegrasi I(1), karena pada uji ADF pertama diperoleh test-value yang lebih kecil dari critical-value pada semua tingkat signifikansinya. Dengan kata lain, data event-2 dan event-3 tersebut tidak stasioner sehingga perlu dilakukan penurunan pertama agar diperoleh data stasioner. Oleh karena terjadi penurunan pertama maka data event tersebut disebut I(1).

Langkah berikutnya adalah menentukan orde lag p dengan menggunakan metode AIC.

Tabel 7. Estimasi VAR(p) dengan AIC

Estimasi lag p	Orde VAR(p)					
	01/13/09			01/22/09		
	Ev-1	Ev-2	Ev-3	Ev-1	Ev-2	Ev-3
AIC	1	1*	3*	4	1	1

Dari tabel 7 estimasi orde lag p menggunakan AIC diperoleh nilai $p=1$ untuk semua event hujan yang terjadi, kecuali event-3 hujan 13 Januari dan event-1 hujan 22 Januari 2009. Khusus untuk hasil estimasi untuk event-2 dan event-3 hujan 13 Januari 2009 menjadi model VAR(1) pada I(1) dan VAR(3) pada I(1), karena data stasioner setelah dilakukan differencing orde pertama.

4.3 Uji Granger Causality

Uji ini untuk mencari hubungan timbal balik (interrelationship) antara variabel pada satu lokasi dengan lokasi rain gauges yang lain. Apakah masing-masing variabel di masa lampau berpengaruh signifikan atau tidak terhadap variable di lokasi yang lain, atau hanya berpengaruh pada dirinya sendiri saja. Uji ini akan diterapkan pada masing-masing event hujan dengan menggunakan hasil orde lag p pada tabel 7.

Tabel 8. Uji Granger Causality Pada Hujan 13 Jan'09

Causality	event-1		event-2		event-3	
	F-test	p-val	F-test	p-val	F-test	p-val
B→A	45.83	1.5E-10	0.94	0.33	0.48	0.69
C→A	3.14	0.07	0.89	0.34	0.46	0.71
D→A	0.35	0.55	1.76	0.18	4.16	8.20E-3
A→B	0.6	0.43	0.02	0.89	0.54	0.66
C→B	1.18	0.28	6.78	0.01	1.97	0.12
D→B	0.55	0.46	0.81	0.37	0.44	0.72
A→C	0.04	0.85	0.13	0.72	1.05	0.37
B→C	0.11	0.74	32.74	4.20E-8	12.7	5.20E-7
D→C	0.96	0.33	0.43	0.5	0.44	0.72
A→D	10.99	1.09E-3	1.76	0.18	7	2.70E-4
B→D	32.67	4.08E-8	1.62	0.2	0.37	0.77
C→D	0.89	0.35	3.3	0.07	0.11	0.95

Pada uji tabel 8 di atas apabila nilai F-testnya lebih besar dari nilai maximal p-valuenya 0.1 (10%) maka terdapat granger-cause antara variabelnya. Seperti terlihat tabel 8 di atas ditunjukkan bahwa pada event-1 terjadi unidirectional granger cause pada B→A, C→A, A→D dan B→D. Variabel pada model lokasi A dipengaruhi dari variabel bebas model lokasi B (pada tabel 8 diberi arsir hitam). Variabel pada model lokasi A

dipengaruhi dari variabel bebas model lokasi C. Variabel pada model lokasi D dipengaruhi dari variabel bebas model lokasi A. Variabel pada model lokasi D dipengaruhi dari variabel bebas model lokasi B.

Pada event-2 tabel 8 terjadi bidirectional granger cause antara B↔C (pada tabel 8 diberi arsir hitam), terjadi hubungan timbal balik antara lokasi C dengan lokasi B. Variabel bebas pada model lokasi B dipengaruhi dan mempengaruhi dari variabel bebas model lokasi C. Sedangkan unidirectional granger cause terjadi pada C→D, di mana variabel lokasi D dipengaruhi oleh variabel bebas dari lokasi C namun tidak sebaliknya.

Pada event-3 tabel 8 terjadi bidirectional granger cause antara A↔D (pada tabel 8 diberi arsir hitam), terjadi hubungan timbal balik antara lokasi A dengan lokasi D. Variabel bebas pada model lokasi A dipengaruhi dan mempengaruhi dari variabel bebas model lokasi D. Sedangkan unidirectional granger cause terjadi pada B→C, di mana variabel lokasi C dipengaruhi oleh variabel bebas dari lokasi B namun tidak sebaliknya.

Seperti terlihat pada tabel 9, pada event-1 ditunjukkan bahwa terdapat unidirectional granger cause terjadi pada A→B, di mana variabel lokasi B dipengaruhi oleh variabel bebas dari lokasi A namun tidak sebaliknya (diberi tanda arsir hitam pada tabel 9). Pun terdapat unidirectional granger cause terjadi pada D→B, di mana variabel lokasi B dipengaruhi oleh variabel bebas dari lokasi D namun tidak sebaliknya.

Tabel 9. Uji Granger Causality Pada Hujan 22 Jan'09

Causality	event-1		event-2		event-3	
	F-test	p-val	F-test	p-val	F-test	p-val
B→A	0.28	0.89	0.61	0.43	0	1
C→A	0.38	0.82	1.24	0.27	0	1
D→A	0.17	0.95	0.73	0.39	0	1
A→B	49.04	0	0.59	0.44	0	1
C→B	0.51	0.73	0.75	0.38	0	1
D→B	5.2	4.3E-4	2.15	0.14	0	1
A→C	0.66	0.62	0.55	0.46	0	1
B→C	0.02	0.99	0.23	0.63	0	1
D→C	0.52	0.72	0.37	0.54	0	1
A→D	0.21	0.93	0.47	0.49	0	1
B→D	0.82	0.51	2.61	0.11	0	1
B→D	0.16	0.96	0.12	0.73	0	1

Namun pada event-3 tabel 9, tidak terjadi granger cause sama sekali pada masing-masing lokasi. Hal ini dapat diartikan bahwa hujan pada lokasi A tidak berpengaruh pada lokasi lainnya dan sebaliknya. Demikian juga pada lokasi yang lainnya. Namun ini berbeda dengan kejadian pada event-2, pada event-3 terdapat koefisien korelasi

spasial 1 untuk semua lokasi hujan. Hal ini dapat juga dimaknai bahwa terjadi hujan merata pada semua lokasi.

Sedangkan pada event-2 tabel 9, tidak terjadi granger cause sama sekali pada masing-masing lokasi. Hal ini dapat diartikan bahwa hujan pada lokasi A tidak berpengaruh pada lokasi lainnya dan sebaliknya. Demikian juga pada lokasi yang lainnya. Namun korelasi spasial yang diperoleh adalah mendekati 0.

Dari uji kausalitas pada hujan 13 Jan 2009 dapat ditunjukkan bahwa kausalitas lokasi hujan tersebut karena adanya pengaruh arah angin barat.

4.4 Uji Kointegrasi Johansen

Untuk dapat dilakukan uji kointegrasi, syarat awalnya adalah datanya tidak stasioner atau I(1). Dari uji stasioner pada tabel 5 dan tabel 6, data yang tidak stasioner adalah event-2 dan event-3 hujan 13 Jan 2009 dan orde lag p yang diperoleh masing-masing adalah 1 dan 3 seperti hasil uji pada tabel 7. Hasil uji ADF dan orde lag p ini digunakan untuk memperoleh relasi keseimbangan kointegrasi jangka panjang dengan metode Johansen.

Tabel 10. Uji Kointegrasi Johansen

H ₀	Trace Value		Critical Value		
	event-2	event-3	99%	95%	90%
$r=0$	73.6*	77.7*	70.05	62.99	59.14
$r=1$	31.1	38.92	48.45	42.44	39.06
$r=2$	7.84	10.86	30.45	25.32	22.76
$r=3$	3.1	3.12	16.26	12.25	10.49

Dari tabel 10 di atas diperoleh hasil bahwa nilai Trace-Value lebih besar dibandingkan dengan critical value untuk semua tingkat signifikansi pada H₀: $r=0$. Dengan demikian dapat ditunjukkan bahwa terdapat hubungan keseimbangan jangka panjang antara lokasi curah hujan A dan ketiga lokasi curah hujan yang lain. Hubungan keseimbangan jangka panjang ini berupa persamaan linier dapat dimodelkan dalam persamaan kointegrasi sebagai berikut ini

$$A = 18.5C - 31.26B - 1.15D - 1.24 \quad (4.1)$$

$$A = 2.11 + 28.41C + 5.46D - 54.09B \quad (4.2)$$

Persamaan (4.1) merupakan fungsi kointegrasi event-2, di mana A, B, C dan D adalah masing-masing curah hujan di lokasi A, B, C dan D. Persamaan (4.2) merupakan fungsi kointegrasi event-3. Kedua persamaan kointegrasi merupakan relasi linier yang tidak berubah tergantung waktu dan juga dapat menunjukkan bahwa terdapat sifat stasioner terhadap ruang.

5. Kesimpulan

Pada uji granger cause pada ke-6 event hujan diperoleh bahwa pada masing-masing event hujan berbeda kasus granger cause-nya tergantung kondisi curah hujan pada setiap eventnya. Hal ini berarti bahwa hujan bersifat tidak homogen dan berubah sebagai fungsi waktu dan lokasi.

Pada curah hujan 13 Januari 2009 terdapat kasus Granger Cause pada semua eventnya di mana hubungan kausalitas lokasi curah hujan akibat adanya pengaruh arah angin barat.

Pada uji kointegrasi Johansen diperoleh model hubungan linier antar lokasi curah hujan yang tidak berubah tergantung waktu dan juga dapat menunjukkan bahwa terdapat sifat stasioner terhadap ruang.

References

- [1] S.A. Callaghan (2008), "Rain Field for fixed radio systems using Fade Mitigation Techniques", URSIGA 2008, Chicago, USA
- [2] Hendratoro, G., Mauludiyanto, A., Handayani, P. (2004), "An Autoregressive Model for Simulation of Time Varying Rain Rate", 10th Intl Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and URSI Conference, Ottawa, Canada.
- [3] Hendratoro, G., Indrabayu, Suryani, T., Mauludiyanto, A. (2006), "A Multivariate Autoregressive Model for Rain Attenuation on Multiple Short Radio Link", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol 5, hal. 54-57.
- [4] Yadnya, M. S. (2008), "Pemodelan ARMA Curah Hujan di Surabaya", Tesis Master, Telekomunikasi Multimedia, ITS-Surabaya
- [5] M. Rusdi, G. Hendratoro, A. Mauludiyanto (2009), "Modelling of Rain Rate in Surabaya using Fuzzy Autoregressive (Fuzzy AR)", Int'l Seminar on Science and Technology ISSTEC, UII, Yogya.
- [6] Bernhard Pfaff (2008), "VAR, SVAR and SVEC Models: Implementation Within R Package vars", Journal of Statistical Software, Volume 27, Issue 4.
- [7] Xing-ping Zhang, Rui Gu, Xu Zhao (2008), "Electricity Consumption and Economic Activities in China", 4th The Int'l Conferec on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM'08.
- [8] Sis Soesetijo, A. Mauludiyanto, G. Hendratoro (2009), "Pemodelan VAR dengan Uji Kausalitas Terhadap Data Spasial Curah Hujan di Surabaya", CITEE 2009 UGM Yogyakarta.