

Pemodelan Vector AR Dengan Uji Kausalitas Terhadap Data Spasial Curah Hujan di Surabaya

Sis Soesetijo, Achmad Mauludiyanto, Gamantyo Hendrantoro
Laboratorium Antena dan Propagasi
Teknik Elektro Kampus ITS Surabaya 60111
ssoesetijo@elect-eng.its.ac.id; {maulud, gamantyo}@ee.its.ac.id

Abstract— Site Diversity is one of techniques to compensate rain attenuation in millimeter-wave. However, to implement appropriate site diversity techniques have to involve base knowledge about rainfall which have space-time changes property and inhomogeneous. In this paper, Vector AR (VAR) is implemented to rainfall space-time model at 4 sites with causality test. Granger Causality test is used to check whether one rainfall-site “granger-cause” to another site and vice versa. And the result show that one site (site A) “granger-cause” to another site (site B, C and D) and so on.

Keywords—Vector AR, Granger-Causality, Site Diversity

I. PENDAHULUAN

Dalam sistem komunikasi gelombang milimeter, baik pada sistem komunikasi terestrial maupun satelit, pengaruh redaman yang diakibatkan oleh hujan memberikan kontribusi yang sangat buruk pada Quality Of Service (QoS) sistem. Penelitian [1] menjelaskan bahwa sistem komunikasi radio pada frekuensi 30 GHz yang melalui lintasan sepanjang 5 km di Surabaya mengalami redaman hujan mencapai 80 dB.

Fade Mitigation Techniques (FMT), merupakan suatu teknik pada sistem komunikasi radio yang dapat melakukan kompensasi realtime pengaruh efek redaman akibat hujan. Tujuan FMT adalah dapat merancang sistem komunikasi yang dapat memaksimalkan penggunaan keseluruhan kanal komunikasi dengan memenuhi persyaratan QoS. 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).

Beberapa penelitian yang terkait dengan pemodelan curah hujan di Surabaya telah banyak dilakukan namun masih menggunakan model berbasis deret waktu univariate (univariate time series). Model 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. Bila variabel fuzzy ini diurutkan berdasarkan waktu, maka akan membentuk deret waktu dengan data 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 [6]. Untuk alasan empiris dan praktis maka digunakan pemodelan VAR [7]. 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

II. MODEL VAR DAN GRANGER CAUSALITY

A. 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 :

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + C D_t + u_t \quad (2.1)$$

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 Dt 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 yang tidak berubah pada fungsi waktu.

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

- a. 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, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta y_t = \phi y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} A_j^* \Delta y_{t-j} + u_t \quad (2.3)$$

dengan $\phi = -A(1)$ dan $A_j^* = -(A_{j+1} + \dots + A_p)$. Dengan model persamaan ini, hipotesis yang digunakan adalah $H_0: \phi=0$ versus $H_1: \phi < 0$. Jika hipotesis nol, H_0 tertolak maka dipastikan data yang diuji adalah stasioner.

- b. Proses Estimasi yaitu proses untuk menentukan koefisien model yang diamati. Penentuan koefisien VAR(p) yang paling efektif adalah dengan menggunakan *least-squares* yang diterapkan terpisah pada masing-masing persamaan.
- c. 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.

B. 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 :

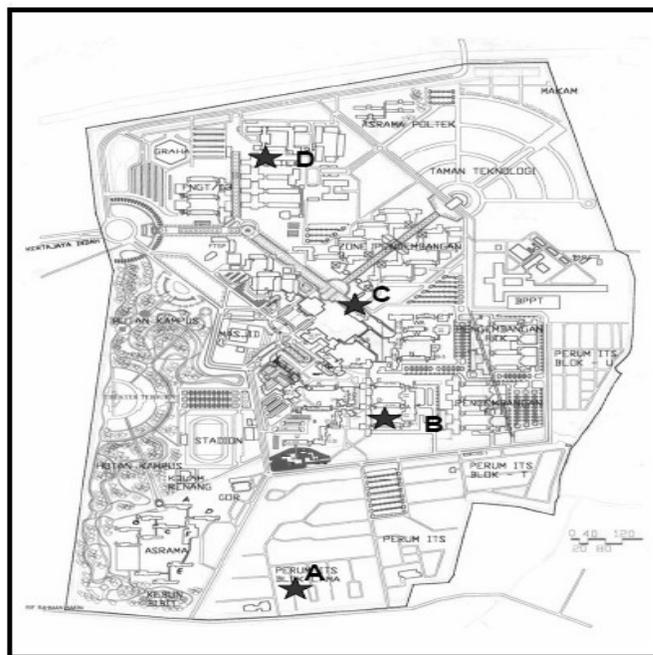
$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} \alpha_{11,i} & \alpha_{12,i} \\ \alpha_{21,i} & \alpha_{22,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-i} \\ y_{2,t-i} \end{bmatrix} + CD_t + \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Subvektor y_{1t} tidak “granger-cause” y_{2t} apabila $\alpha_{21,i} = 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$ dan sebaliknya Subvektor y_{1t} “granger-

cause” y_{2t} apabila $\alpha_{12,i} \neq 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$. Dengan demikian analisis Causality akan menguji apakah sebuah variabel dapat membantu memprediksi variabel yang lain.

III. LOKASI RAIN GAUGES

Pada penelitian ini menggunakan rain gauge dengan tipe 8” Tipping bucket model 260-2501. Lokasi pengukuran curah hujan adalah di kota Surabaya, Jawa timur. Kota Surabaya berada pada $07^\circ 21'$ Lintang Selatan dan $112^\circ 36' - 112^\circ 54'$ Bujur Timur. Surabaya memiliki dua daerah yaitu dataran rendah dengan ketinggian 3-6 meter (dpl) dan dataran tinggi pada 25-50 meter (dpl). 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, berupa kumpulan tips dari bucket yang terisi air hujan. 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 Surabaya

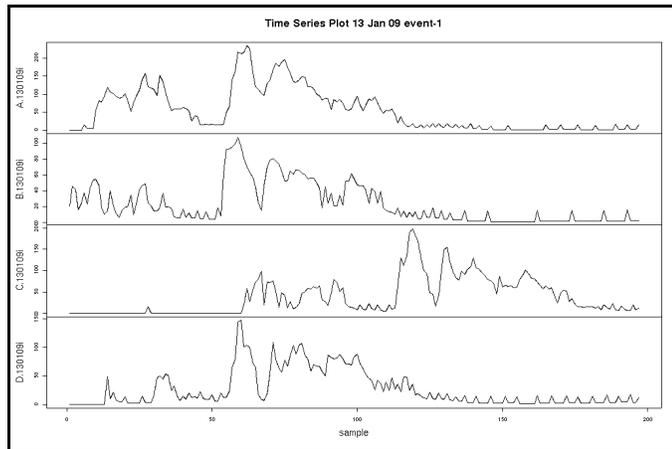
IV. HASIL DAN ANALISIS

Pada makalah ini hasil yang dibahas dan dianalisis 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 v2.8.1 pada pada sistem operasi Mandriva Linux 2008.

A. Event Curah Hujan

Event curah hujan merupakan kejadian dimana awal hujan terjadi dan berakhir. Antar event hujan tidak saling

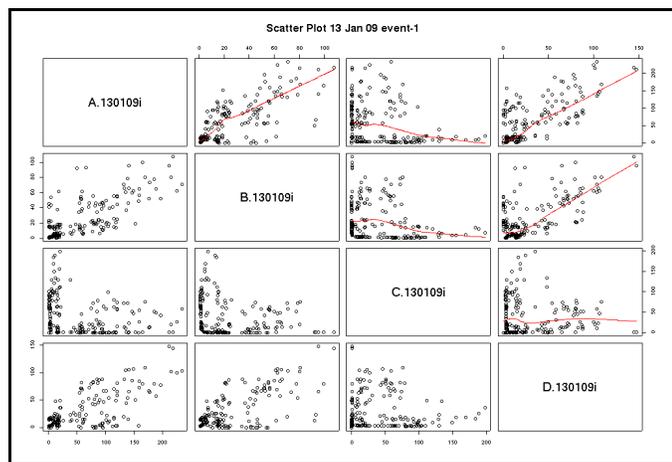
terkait, karena antar event hujan terdapat periode tidak terjadi hujan(periode kering). Agar periode kering tidak mempengaruhi dalam pemodelan maka pemodelan dan analisis uji granger-causality hanya memasukkan periode dimana hanya terjadi hujan saja yang disebut event curah hujan. Pada satu hari bisa saja terjadi beberapa kali event hujan atau bahkan tidak terjadi hujan sama sekali. Pada gambar 2 berikut ini merupakan grafik deret waktu event-1 hujan pertama pada tanggal 13 Januari 2009.



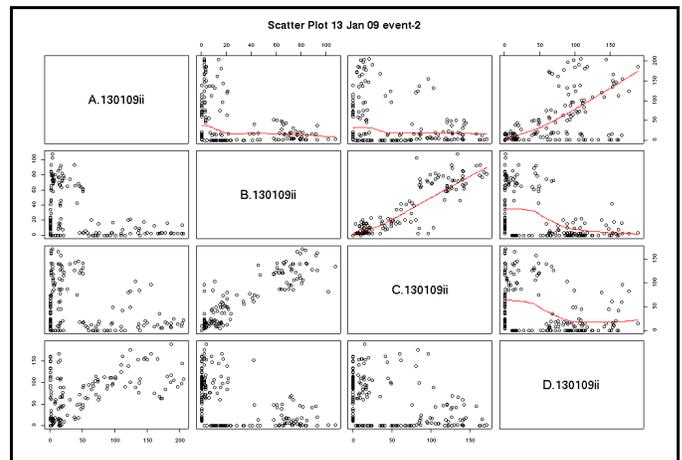
Gambar 2. Grafik Time Series Event-1 pada hujan13/01/09

Untuk melihat hubungan antara 2 lokasi rain gauge pada event hujan yang sama, diperlukan analisis scatter plot. Pada gambar 3 merupakan grafik scatter plot untuk event hujan pertama pada hujan 13 Januari 2009. Dari gambar 3 nampak korelasi linier antara 2 lokasi, lokasi A-B dan lokasi B-C mempunyai korelasi negatif.

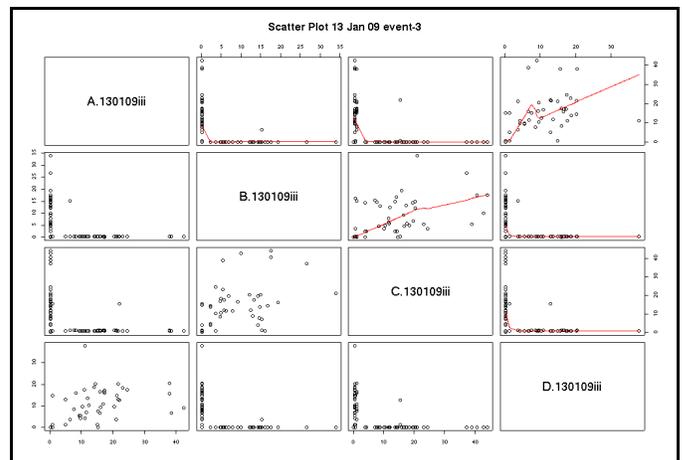
Pada gambar 4 merupakan grafik scatter plot untuk event hujan ke-2 pada hujan 13 Januari 2009. Dari gambar 4 nampak korelasi linier antara 2 lokasi, lokasi A-D dan lokasi B-C mempunyai korelasi positif.



Gambar 3. Scatter Plot Event-1 pada hujan 13/01/09



Gambar 4. Scatter Plot Event-2 pada hujan 13/01/09

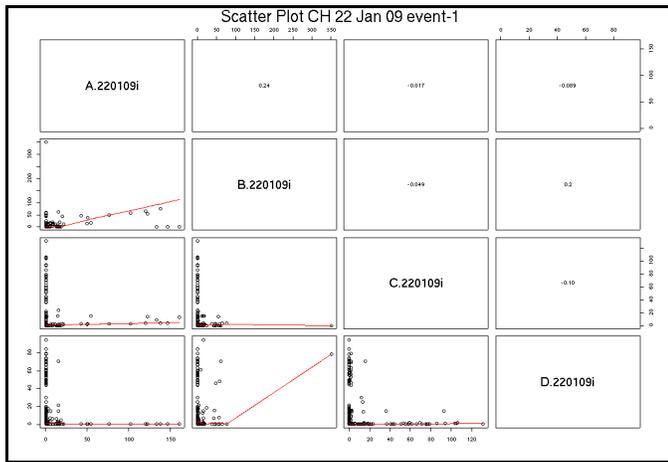


Gambar 5. Scatter Plot Event-3 pada hujan 13/01/09

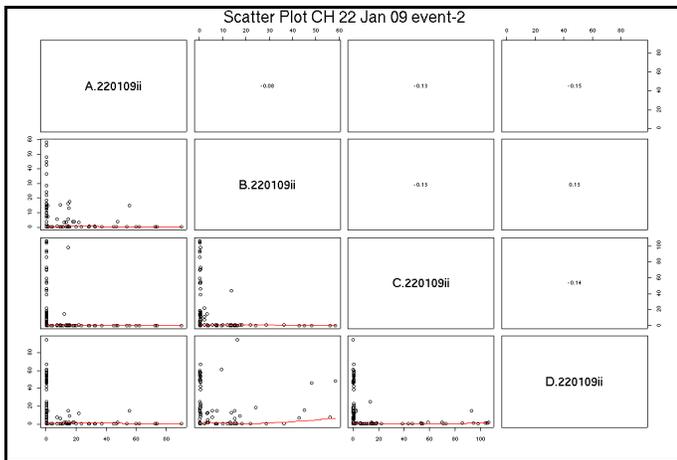
Pada gambar 5 merupakan grafik scatter plot untuk event hujan ke-3 pada hujan 13 Januari 2009. Dari gambar 5 nampak korelasi linier antara 2 lokasi, lokasi A-D dan lokasi B-C mempunyai korelasi positif.

Pada gambar 6 merupakan grafik scatter plot untuk event hujan pertama pada hujan 22 Januari 2009. Dari gambar 6 nampak korelasi linier antara 2 lokasi, hanya lokasi B-D dan A-B mempunyai korelasi positif.

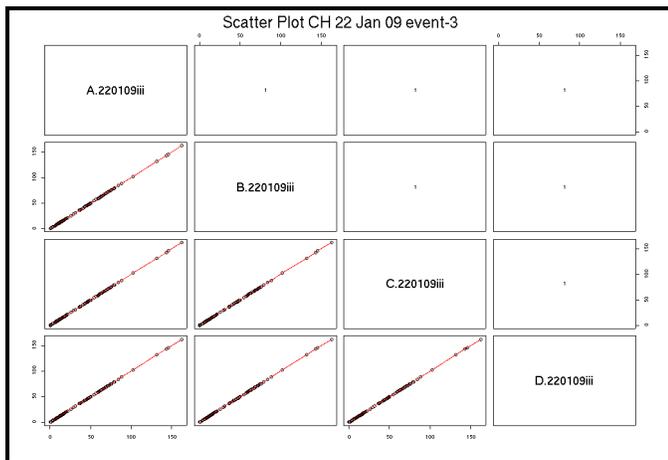
Pada gambar 8 merupakan grafik scatter plot untuk event hujan ke-3 pada hujan 22 Januari 2009. Dari gambar tersebut nampak korelasi linier antara 2 lokasi, semuanya mempunyai koefisien korelasi 1. Pada event-3 hujan 22 Januari 2009, nampak terjadi hujan merata pada semua lokasi yang berlangsung selama lebih dari 200 menit, fenomena hujan merata dapat terlihat pada grafik scatter plotnya dengan korelasi 1.



Gambar 6. Scatter Plot Event-1 pada hujan 22/01/09



Gambar 7. Scatter Plot Event-2 pada hujan 22/01/09



Gambar 8. Scatter Plot Event-3 pada hujan 22/01/09

Pada gambar 7 merupakan grafik scatter plot untuk event hujan ke-2 pada hujan 22 Januari 2009. Dari gambar 7 nampak korelasi linier antara 2 lokasi, hanya lokasi B-D dan A-C mempunyai korelasi positif.

B. 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 1. Uji ADF pada Event-1 Hujan 13 Januari 2009

Lokasi	Test Value	Critical Value		Keterangan
		5%	10%	
A	-3.4593	-3.43*	-3.13*	I(0)
B	-3.1929	-3.43	-3.13*	I(0)
C	-3.2309	-3.43	-3.13*	I(0)
D	-3.2057	-3.43	-3.13*	I(0)

Tabel 2. Uji ADF pada Event-2 Hujan 13 Januari 2009

Lokasi	Test Value	Critical Value		Keterangan
		5%	10%	
A	-1.6593	-3.43	-3.13	
ΔA	-11.5065	-2.88*	-2.57*	I(1)
B	-1.8936	-3.43	-3.13	
ΔB	-10.9058	-2.88*	-2.57*	I(1)
C	-2.3075	-3.43	-3.13	
ΔC	-9.5422	-2.88*	-2.57*	I(1)
D	-3.4912	-3.43	-3.13	
ΔD	-9.6447	-2.88*	-2.57*	I(1)

Pada tabel 1 menunjukkan bahwa event-1 dengan uji ADF merupakan datanya stasioner I(0) dengan tingkat signifikansi 90% karena absolut test-value lebih besar dari absolut critical value 10% (ditandai * pada tabel 1).

Sedangkan pada tabel 2 menunjukkan bahwa event-2 tidak stasioner pada data awalnya karena absolut test-value lebih kecil dari absolut critical value 5% dan 10% sehingga data harus dilakukan penurunan (differencing). Hasilnya data stasioner pada orde pertama penurunan I(1) karena nilai absolut test-valuenya dari turunan pertama lebih besar dari critical value 5% dan 10% (ditandai * pada tabel 2).

Tabel 3. Uji ADF pada Event-3 Hujan 13 Januari 2009

Lokasi	Test Value	Critical Value		Keterangan
		5%	10%	
A	-3.4496	-3.43	-3.13	
ΔA	-9.9561	-2.89*	-2.58*	I(1)
B	-2.2678	-3.43	-3.13	
ΔB	-12.7959	-2.89*	-2.58*	I(1)
C	-1.7922	-3.43	-3.13	
ΔC	-11.2268	-2.89*	-2.58*	I(1)
D	-3.2083	-3.43	-3.13*	
ΔD	-12.2063	-2.89*	-2.58*	I(1)

Sedangkan pada tabel 3 menunjukkan bahwa event-3 tidak stasioner pada data awalnya karena absolut test-value lebih kecil dari absolut critical value 5% dan 10% sehingga data harus dilakukan penurunan (differencing). Hasilnya data stasioner pada orde pertama penurunan I(1) karena nilai absolut test-valuenya dari turunan pertama lebih besar dari critical value 5% dan 10% (ditandai * pada tabel 3)

Tabel 4. Uji ADF pada Event-1 Hujan 22 Januari 2009

Lokasi	Test Value	Critical Value		Keterangan
		5%	10%	
A	-5.1149	-3.42*	-3.13*	I(0)
B	-6.2012	-3.42*	-3.13*	I(0)
C	-4.6095	-3.42*	-3.13*	I(0)
D	-4.9225	-3.42*	-3.13*	I(0)

Pada tabel 4 menunjukkan bahwa event-1 dengan uji ADF merupakan datanya stasioner I(0) dengan tingkat signifikansi 95% dan 90% karena absolut test-value lebih besar dari absolut critical value 5% dan 10% (ditandai * pada tabel 4).

Tabel 5. Uji ADF pada Event-2 Hujan 22 Januari 2009

Lokasi	Test Value	Critical Value		Keterangan
		5%	10%	
A	-4.3626	-3.43*	-3.13*	I(0)
B	-4.4762	-3.43*	-3.13*	I(0)
C	-4.3350	-3.43*	-3.13*	I(0)
D	-4.8842	-3.43*	-3.13*	I(0)

Tabel 6. Uji ADF pada Event-3 Hujan 22 Januari 2009

Lokasi	Test Value	Critical Value		Keterangan
		5%	10%	
A	-3.5241	-3.43*	-3.13*	I(0)
B	-3.5241	-3.43*	-3.13*	I(0)
C	-3.5241	-3.43*	-3.13*	I(0)
D	-3.5241	-3.43*	-3.13*	I(0)

Pada tabel 6 menunjukkan bahwa event-2 dengan uji ADF merupakan datanya stasioner I(0) dengan tingkat signifikansi 95% dan 90% karena absolut test-value lebih besar dari absolut critical value 5% dan 10%. Bahkan dengan tingkat kepercayaan 99% karena absolut test-value lebih besar dari absolut critical-valuenya 1% yaitu 3.99. Sedangkan pada tabel 6 menunjukkan bahwa event-3 stasioner pada I(0) karena nilai absolut test-valuenya lebih besar dari critical value 5%. Hal ini berarti tingkat signifikansinya mencapai 95%.

Langkah berikutnya adalah menentukan orde p dengan menggunakan metode AIC.

Tabel 7. Estimasi VAR(p) dengan AIC

Estimasi lag p	Orde VAR(p)					
	13/01/09			22/01/09		
	Event-1	Event-2	Event-3	Event-1	Event-2	Event-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.

C. 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 sub-bab sebelumnya.

Tabel 8. Uji Granger Causality Pada Hujan 13 Januari 2009

Causality	event-1		event-2		event-3	
	<i>F-test</i>	<i>p-val</i>	<i>F-test</i>	<i>p-val</i>	<i>F-test</i>	<i>p-val</i>
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-test*nya lebih besar dari nilai maksimal *p-value*nya 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 tabel 9 di atas 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 Januari 2009

Causality	event-1		event-2		event-3	
	<i>F-test</i>	<i>p-val</i>	<i>F-test</i>	<i>p-val</i>	<i>F-test</i>	<i>p-val</i>
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 1 antar 2 lokasi untuk semua lokasi hujan seperti nampak pada gambar 7 scatter plotnya. Hal ini dapat juga dimaknai bahwa terjadi hujan merata pada semua lokasi.

Sedangkan 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.

V. KESIMPULAN

Pada pembahasan dan analisis pemodelan VAR data 6 event curah hujan pada 4 lokasi rain gauge, masing-masing 3 event hujan pada tanggal 13 Januari dan 22 Januari 2009 diperoleh beberapa kesimpulan yaitu

1. Dari uji stasioner dengan ADF terhadap data curah hujan pada masing-masing event hujan diperoleh bahwa curah hujan dapat bersifat stasioner dan tidak stasioner.
2. Pada uji estimasi parameter orde lag *p* diperoleh model dengan orde lag *p* yang bervariasi pada semua event. Model yang didapatkan pada event hujan 22 Januari adalah VAR(1) pada I(0) kecuali pada event-

- 1 hujan 22 Januari 2009 didapatkan VAR(4) dan data hujan pada event-event ini bersifat stasioner. Sedangkan pada hujan 13 Januari 2009 diperoleh model VAR(1) pada I(0), VAR(1) pada I(1) dan VAR(3) pada I(1)
3. 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. Bahkan pada event-2 dan event-3 hujan 22 Januari 2009 tidak ada kasus granger cause-nya. Pada event-2 tersebut menunjukkan bahwa hujan mempunyai korelasi yang sama antar lokasinya, pada kasus ini terjadi hujan yang merata sama pada semua lokasi.
 4. Penerapan teknik site diversity untuk desain sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter direkomendasikan menggunakan pemodelan VAR dengan uji Granger Causality.

China: a Multivariate Cointegration Analysis", The International Conference on Risk Management & Engineering Management.

REFERENCES

- [1] Salehudin, M., Hanantasena, B., Wijdeman, L. (1999) "*Ka Band Line-of-Sight Radio Propagation Experiment in Surabaya Indonesia*", 5th Ka-Band Utilization Conference, hal. 161-165, Taormina, Italy.
- [2] Hendranto, G., Mauludiyanto, A., Handayani, P. (2004), "*An Autoregressive Model for Simulation of Time Varying Rain Rate*", 10th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and URSI Conference, Ottawa, Canada.
- [3] Hendranto, 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.Hendranto, A.Mauludiyanto(2009), "*Modelling of Rain Rate in Surabaya using Fuzzy Autoregressive (Fuzzy AR)*", International Seminar on Science and Technology ISSTEC, UII, Yogyakarta.
- [6] Suhartono (2004), "*Evaluasi Pembentukan Model VARIMA dan STAR untuk Peramalan Data Deret Waktu dan Lokasi*" "Jurnal Matematika Alternatif Vol 3. No. 2
- [7] Agustinus Alonso-Rodriguez (2000), "*VARMA Modeling of The Production Function*", International Advance in Economic Research, Vol. 6 No. 2
- [8] Bernhard Pfaff (2008), "*VAR, SVAR and SVEC Models: Implementation Within R Package vars*", Journal of Statistical Software, Volume 27, Issue 4.
- [9] Chang-hong Zhao, Jiahai Yuan, Jian-gang Kang (2008), "*Oil Consumption and Economic Growth in*