Jurnal Sains dan Teknologi 11 (1), Maret 2012: 11-17
ISSN 1412-6257

ANALISA KEHANDALAN STOKASTIK RANTAI MARKOV UNTUK SIMULASI DATA CURAH HUJAN HARIAN PADA DAS KAMPAR

Bambang Sujatmoko, Mardani Sebayang, Muhammad Khalilullah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

email : b_sujatmoko@yahoo.com

ABSTRAK

Suatu model telah dikembangkan untuk mensimulasi curah hujan harian pada 4 stasiun pengukur hujan yang berlokasi di DAS Kampar. Curah hujan yang merupakan sesuatu yang tidak pasti dan salah satu faktor penting dalam sebuah perencanaan akan disimulasi dengan sebuah model yaitu stokastik rantai Markov. Dengan menggunakan variabel acak, model stokastik rantai Markov dilakukan untuk mensimulasi deretan hari hujan dan kering dan untuk mensimulasi serangkaian besar curah hujan harian dengan menggunakan distribusi gamma. Analisa persentase perbedaan jumlah hari hujan dan total curah hujan dilakukan untuk mengetahui tingkat perbedaan antara simulasi dan pengamatan. Dan analisa uji Chi-Kuadrat dilakukan menjadi 2 bentuk uji apakah memiliki populasi yang sama yaitu untuk data simulasi dan pengamatan dan untuk data simulasi dan distribusi gamma. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap 120 data tiap-tiap stasiun menyatakan bahwa berdasarkan uji Chi-kuadrat, tidak lebih dari 50% data curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan curah hujan hasil pengamatan, dan bahwa kurang dari 30% data curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan distribusi gamma. Tingkat kehandalan rantai Markov dalam mensimulasi data curah hujan di DAS Kampar adalah rendah karena nilai koefisien korelasi (r) antara model dan pengamatan lebih kecil dari nilai koefisien korelasi kritik (r_{kritik}).

Kata Kunci : curah hujan harian, hari hujan, model rantai Markov, data hujan simulasi.

ABSTRACT

A stochastic model had been developed to simulate the daily-rainfall at four rainfall station recorder that located at Kampar watershed. A daily-rainfall data is an unpredictable data and an important factor in a planning that will be simulated with a model stochastic that is Markove Chain Model. By using the random variables, a running of the model stochastic Markov chain is conduct to simulate a series of wet day and dry day, and to simulate a series of value daily-rainfall by using Gamma distribution. The presentation analysis of summary difference of rainfall day and total of rainfall day were conducted to know a difference degree between the simulated data and the observed data. An analysis of Chi-square test was conducted at two tests form to know what is belonging the same population, which is between the simulated data and the observed data and between the simulated data and the Gamma distribution data. The result of testing that is conducted to 120 data at every station shows that based of analysis of Chi-square test, less than 50% of simulated rainfall data were suitable with observed rainfall data, and less than 30% of simulated rainfall data were suitable with the Gamma distribution data. Degree of reliability of Markov chain to simulate the rainfall data in Kampar Watershed is low because value of coefficient correlation (r) between model and observed data less than value of critical coefficient correlation (r_{critic}).

Kata Kunci : daily-rainfall, day of rainfall, Markov chain model, simulated rainfall data.

PENDAHULUAN

Data curah hujan merupakan salah satu faktor yang menentukan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur seperti perencanaan drainase, gorong-gorong, dan sebagainya. Keberhasilan suatu perencanaan ditentukan oleh tersedianya data curah hujan yang kontinu dan akurat, serta analisa hidrologi yang sesuai. Namun, dalam perencanaan sering terjadi ketidaktersediaan pencatatan data curah hujan yang panjang, yang disebabkan oleh rusaknya alat pengukur atau sebab lainnya. Oleh karena itu, data curah hujan yang terlalu pendek menjadi kurang mewakili untuk suatu perencanaan yang akan rencanakan (Kottegoda, 1980).

Besaran curah hujan merupakan suatu hal yang tidak pasti. Ketidakpastian curah hujan ini dapat dibangkitkan dengan analisa stokastik. Menurut Erwanto, *et al* (1992), Praptono (1996), suatu analisa stokastik dilakukan berdasarkan pada catatan sebelumnya, namun masih mempunyai sifat-sifat statistik yang serupa. Analisa stokastik ini digunakan karena faktor ketidakpastian yang menyertai suatu sifat hidrologis. Analisa stokastik yang umum digunakan untuk mengatasi ketidakpastian ini adalah stokastik rantai Markov.

Analisa stokastik rantai Markov telah banyak diterapkan oleh para ilmuwan, khususnya dalam bidang hidrologi di berbagai Negara, seperti di DAS Zapadna Morava, Yugoslavia oleh Jovanovic, *et al* tahun 1974 dan di Universitas Pertanian Malaysia (UPM), Malaysia oleh Bardaie dan Abdul tahun 1981. Di Indonesia telah diterapkan di kota Yogyakarta yaitu pada daerah irigasi Van Der Wijck dan irigasi Kali Progo oleh Erwanto, *et al* pada tahun 1992. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini akan menerapkan analisa stokastik rantai Markov pada salah satu Daerah Aliran Sungai (DAS) yang ada di Provinsi Riau yaitu DAS Kampar.

Dalam melakukan analisa stokastik rantai Markov, pada penelitian ini tidak dilakukan pemeriksaan data hujan (*data screening*) sebelum melakukan simulasi. Jadi simulasi dilakukan berdasarkan pada pencatatan data yang ada dan apa adanya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kehandalan rantai Markov pada simulasi ketersediaan data curah hujan di DAS Kampar dengan menyimulasi data curah hujan pengamatan dan menentukan pengaruh panjang data yang digunakan.

METODE DAN BAHAN

Proses stokastik menurut Aswin (2010) merupakan suatu cara untuk mempelajari hubungan yang dinamis dari suatu runtunan peristiwa atau proses yang kejadiannya bersifat tidak pasti.

Proses rantai Markov diperkenalkan oleh seorang ahli Matematika berkebangsaan Rusia yang bernama Andrey Anddreevich Markov (1856-1922) pada tahun 1906. Rantai Markov dinotasikan dengan P_{ij} dimana:

$$P\{X_{t+1} = j \mid X_0 = i_0, X_1 = i_1, \ldots, X_{t-1} = i_{1-1}, X_t = i_t\} = P(X_{t+1} = j \mid X_t = i) = P_{i,j} \quad (1)$$

dengan:

$$\sum_{j=1}^{n} P_{i,j} \text{ dan } P_{i,j} \geq 0, i = j = 1,2,\ldots,n$$

dengan i dan j masing-masing menyatakan keadaan proses pada saat t dan $1 + t$.

Pada penelitian ini matriks transisi dibagi menjadi 3 buah untuk 1 tahun yaitu:
- Matriks ke-1 adalah untuk periode 1 (1 Januari – 30 April),
- Matriks ke-2 adalah untuk periode 2 (1 Mei – 31 Agustus),
- Matriks ke3 adalah untuk periode 3 (1 September – 31 Desember).

Panjang data yang digunakan dalam simulasi adalah 27 tahun, 20 tahun, 15 tahun dan 10 tahun dari data pengamatan pada tiap stasiun pengukur hujan di DAS Kampar yaitu data curah hujan harian dari tahun 1983 sampai tahun 2010.

Simulasi Deretan Hari Hujan dan Kering

Simulasi hari hujan dan kering ini bertujuan untuk mendapatkan suatu deretan hari-hari hujan dan kering, sehingga dapat diketahui kapan terjadinya hari hujan dan hari kering. Adapun tahap-tahap untuk mendapatkan deretan hari hujan dan kering tersebut yaitu sebagai berikut:
1. Menghitung frekuensi probabilitas bersyarat hari hujan dan kering,
2. Menghitung frekuensi lamanya hari hujan dan kering,
3. Menentukan matriks transisi dari rantai Markov untuk hari hujan dan kering,
4. Menghitung distribusi probabilitas hari hujan dan kering,
5. Menentukan deretan hari hujan dan kering dengan menggunakan bilangan acak distribusi seragam pada interval (0,1),
6. Melakukan kalibrasi menggunakan koefisien korelasi untuk mencocokkan distribusi probabilitas hari hujan dan kering hasil simulasi dengan distribusi probabilitas hari hujan dan kering hasil pengamatan dan teoritis.

Dengan mengasumsikan bahwa terjadinya atau tidak terjadinya hujan dalam satu hari hanya bergantung pada apakah curah hujan telah terjadi, atau tidak terjadi pada hari sebelumnya, probabilitas bersyarat berikut dapat didefinisikan (Jovanovic, *et al*. 1974):

$p_0 = P_r$ *(hari hujan | sebelumnya hari kering)*
$p_1 = P_r$ *(hari hujan | sebelumnya hari hujan)*

Jurnal Sains dan Teknologi 11 (1), Maret 2012: 11-17
ISSN 1412-6257

Dari data pengamatan yang telah tercatat didapatkan hari-hari hujan dan kering, yang selanjutnya dihitung peluang dari setiap probabilitas seperti yang terlihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Probabilitas Bersyarat

Keadaan	Hujan	Kering
Hujan	P_1	$1 - p_1$
Kering	P_0	$1-p_0$

Jadi probabilitas dari hari hujan dengan lamanya hari k dan probabilitas hari kering dengan lamanya hari m adalah :

$$P_r\,(X = k) = (1 - p_1)\, p_1^{(k-1)} \qquad (2)$$
$$P_r\,(Y = m) = p_0\,(1 - p_0)^{(m-1)} \qquad (3)$$

Dengan mengunakan bilangan acak distribusi seragam pada interval (0,1) untuk membaca durasi hari hujan dari fungsi distribusi kumulatif hari hujan dan bilangan acak yang lain untuk membaca durasi hari kering dari fungsi distribusi kumulatif hari kering, sehingga deretan hari hujan dan kering dapat dihasilkan.

Probabilitas hari hujan dan kering hasil simulasi digambarkan dalam bentuk grafik dan dibandingkan dengan probabilitas teoritisnya. Nilai koefisien korelasi ditentukan untuk membuktikan tingkat kemiripan atau pola grafik tersebut.

Dengan mengganti angka acak, deretan hari hujan dan kering dapat diambil jika koefisien korelasinya optimum.

Simulasi Besar Curah Hujan Harian

Simulasi besar curah hujan harian dilakukan untuk mendapatkan besarnya curah hujan sebagai pengganti hari-hari hujan yang telah dihasilkan pada simulasi deretan hari hujan dan kering.

Adapun langkah-langkah simulasi (Prihantoro, 2009) adalah:

i. Rentang data dibagi dalam kelas sebanyak K.
ii. Buat matriks dengan ordo (K) x (K) dan tentukan frekuensi dari probabilitas bersyarat curah hujan harian.

$$\begin{array}{cc} & \text{Keadaaan akhir} \\ \begin{array}{c}\text{Keadaan}\\ \text{awal}\end{array} & \begin{bmatrix} f_{(0,0)} & f_{(0,1)} & \cdots & f_{(0,j)} \\ f_{(1,0)} & f_{(1,1)} & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{(i,0)} & \cdots & \cdots & f_{(i,j)} \end{bmatrix} \end{array}$$

iii. Tentukan matriks probabilitas transisi

$$\begin{array}{cc} & \text{Keadaaan akhir} \\ \begin{array}{c}\text{Keadaan}\\ \text{awal}\end{array} & \begin{bmatrix} P_{(0,0)} & P_{(0,1)} & \cdots & P_{(0,j)} \\ P_{(1,0)} & P_{(1,1)} & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{(i,0)} & \cdots & \cdots & P_{(i,j)} \end{bmatrix} \end{array}$$

dengan p_{ij} adalah probabilitas transisi dari keadaan i ke keadaan j yang sesuai dengan distribusi gamma teoritis, menggunakan rumus: (Sebayang, 2005 dan Sugiyono, 2010)

$$p_{ij} = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}\int_{x_1}^{x_2} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \qquad (4)$$

dimana, x_1 dan x_2 adalah batas bawah dan atas interval kelas, dan α dan β adalah parameter distribusi gamma dengan rumus:

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \text{ dan } \beta = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

dengan: μ adalah nilai rata-rata dari frekuensi tiap kelas dan σ^2 adalah nilai variansi dari frekuensi tiap kelas

iv. Matriks probabilitas transisi yang telah dibentuk dikumulatifkan tiap keadaan i terhadap keadaan j.
v. Angka acak pertama (U_1) diambil dan dicocokkan dengan nilai probabilitas kumulatif baris pertama, sehingga dihasilkan besar curah hujan (r_1). Selanjutnya, diambil acak berikutnya (U_2) dan memasukkan pada baris matriks transisi kumulatif dengan kelas sesuai besar curah hujan (r_1) yang dihasilkan sebelumnya, sehingga dihasilkan besar curah hujan berikutnya (r_2) dan seterusnya.
   Prosedur di atas dihentikan apabila telah dihasilkan besar curah hujan (r) sebanyak jumlah hari hujan yang dihasilkan pada simulasi hari hujan dan kering.
vi. Koefisien korelasi dilakukan sebagai kalibrasi untuk probabilitas dari serangkaian besar curah hujan dengan probabilitas dari distribusi gamma.

Hasil dari simulasi adalah berupa serangkaian besar curah hujan harian.

Penggabungan Simulasi

Hasil dari kedua simulasi di atas digabungkan hingga membentuk data curah hujan harian. Menurut Suripin (2004), data curah hujan harian hasil simulasi dapat diuji dengan Chi-Kuadrat (χ^2),

Jurnal Sains dan Teknologi 11 (1), Maret 2012: 11-17
ISSN 1412-6257

yaitu terhadap data pengamatan dan terhadap distribusi gamma.

Analisa persentase perbedaan juga dilakukan, yaitu persentase perbedaan jumlah hari hujan dan persentase perbedaan total curah hujan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Uji Kecocokan

Dari hasil uji Chi-Kuadrat, dengan tingkat kepercayaan, α = 5% dan derajat kebebasan, dk = n – 1, yang dilakukan terhadap 120 data hujan pada stasiun Muara Lembu, ternyata 10% menunjukkan curah hujan hasil simulasi sesuai dengan curah hujan pengamatan (Tabel 2) dan 22,5% menunjukkan curah hujan hasil simulasi sesuai dengan distribusi gamma (Tabel 3). Dengan cara yang sama dengan stasiun Muara Lembu, dilakukan uji Chi-Kuadrat untuk stasiun Koto Baru, Pasar Kampar dan Lipat Kain. Hasil uji Chi-Kuadrat yang menyatakan ratio curah hujan hasil simulasi yang sesuai dengan curah hujan hasil pengamatan dan distribusi gamma ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 2. Nilai Chi-Kuadrat hitung (χ^2) terhadap data pengamatan pada stasiun Muara Lembu.

Panjang data	Periode	Nilai Chi-Kuadrat hitung (χ^2) terhadap data pengamatan pada stasiun Muara Lembu																	
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
27 Tahun	1																		94,94
	2																		9,39
	3																		24,98
20 Tahun	1											17,80	46,30	75,11	27,89	75,30	71,28	9,40	132,59
	2											17,57	57,98	39,74	120,55	162,08	15,20	21,10	22,85
	3											44,91	22,78	22,44	27,58	58,74	32,56	18,18	40,28
15 Tahun	1						62,36	15,98	104,37	10,59	14,14	72,59	54,06	82,31	41,57	81,16	94,22	19,70	267,70
	2						56,80	63,48	72,92	12,43	4,47	29,44	27,32	42,35	103,84	32,13	38,58	26,81	23,31
	3						43,48	29,80	20,40	77,73	9,41	81,67	58,42	45,57	96,00	77,95	101,75	90,10	58,34
10 Tahun	1	25,97	7,64	37,77	145,91	10,49	44,09	9,45	120,93	23,84	12,10	28,35	52,81	116,88	66,34	94,03	46,55	15,54	352,18
	2	24,00	30,14	14,50	15,74	27,50	32,79	37,88	52,61	8,15	25,09	31,33	33,09	49,21	113,01	342,35	69,98	48,94	16,80
	3	15,85	9,65	17,65	92,06	23,66	81,13	92,04	29,55	95,02	12,31	116,08	65,77	119,24	157,12	76,69	171,48	96,24	48,59

Tabel 3. Nilai Chi-Kuadrat hitung (χ^2) terhadap distribusi gamma pada stasiun Muara Lembu.

Panjang data	Periode	Nilai Chi-Kuadrat hitung (χ^2) terhadap distribusi gamma pada stasiun Muara Lembu																	
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
27 Tahun	1																		26,62
	2																		12,82
	3																		26,53
20 Tahun	1											21,64	18,42	21,93	12,33	20,54	13,23	15,64	16,57
	2											13,64	5,27	3,33	22,56	12,15	5,81	7,25	6,95
	3											21,20	36,13	8,61	24,10	29,37	16,32	17,17	22,41
15 Tahun	1						13,17	16,48	18,44	9,56	16,16	26,09	17,64	23,53	14,79	24,54	20,35	21,08	16,53
	2						11,37	6,20	6,97	6,56	4,17	11,05	16,96	10,54	12,55	12,61	5,60	7,20	11,77
	3						17,63	24,01	19,11	21,11	14,65	22,49	17,33	11,43	18,56	26,23	36,05	22,89	29,24
10 Tahun	1	18,48	11,37	12,34	9,04	15,79	12,00	9,57	23,46	16,20	12,71	5,85	28,36	12,19	8,58	11,59	11,91	14,64	11,52
	2	3,64	18,69	7,48	9,38	18,36	5,83	11,05	15,41	7,05	50,11	15,40	5,36	15,40	10,91	8,68	8,74	8,72	11,59
	3	17,05	11,00	15,99	20,90	15,01	27,78	11,18	9,63	15,30	22,59	13,12	14,65	15,50	14,22	18,00	19,52	17,69	23,14

Tabel 4. Persentase kesesuaian data simulasi dengan data pengamatan dan data distribusi Gama dengan uji Chi-Kuadrat.

Uji Chi-Kuadrat	Stasiun			
	Muara Lembu	Lipat Kain	Koto Baru	Pasar Kampar
Terhadap data pengamatan	10,0%	32,5%	23,3%	44,2%
Terhadap distribusi gama	22,5%	25,8%	10,8%	28,3%

Pengujian yang dilakukan terhadap 120 data tiap-tiap stasiun menyatakan bahwa tidak lebih dari 50% data curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan curah hujan hasil pengamatan, dan bahwa kurang dari 30% data curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan distribusi gama.

Dari hasil ini menunjukkan bahwa dalam simulasi data curah hujan harian dengan stokastik rantai Markov perlu melakukan uji kehandalan model dan distribusi yang digunakan dalam membentuk rantai Markov tersebut.

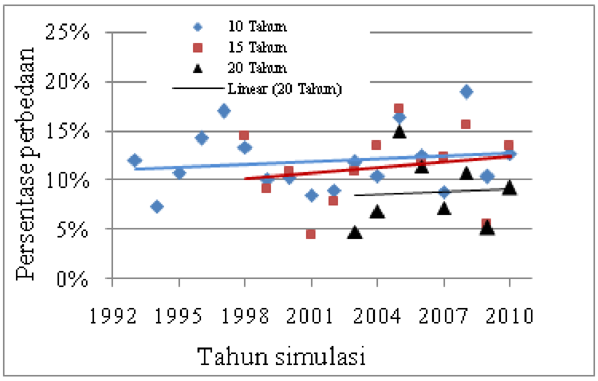
Jurnal Sains dan Teknologi 11 (1), Maret 2012: 11-17
ISSN 1412-6257

Analisa Kehandalan Stokastik Rantai Markov

Sebelum memprediksi data curah hujan harian pada tahun-tahun berikutnya atau membuat data *forecasting* untuk curah hujan harian**,** maka perlu dilakukan uji kehandalan stokastik rantai Markov.

Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa model stokastik rantai Markov yang telah diterapkan di beberapa negara belum tentu dapat diterapkan di Provinsi Riau, khususnya pada DAS Kampar.

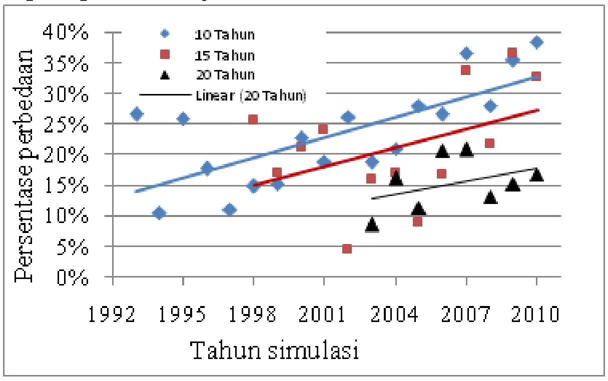
Analisa terhadap perbedaan jumlah hari hujan hasil simulasi dan hasil pengamatan menunjukkan bahwa persentase perbedaannya akan semakin bertambah besar bila banyaknya tahun yang disimulasikan semakin besar, seperti yang digambarkan pada Gambar 1.



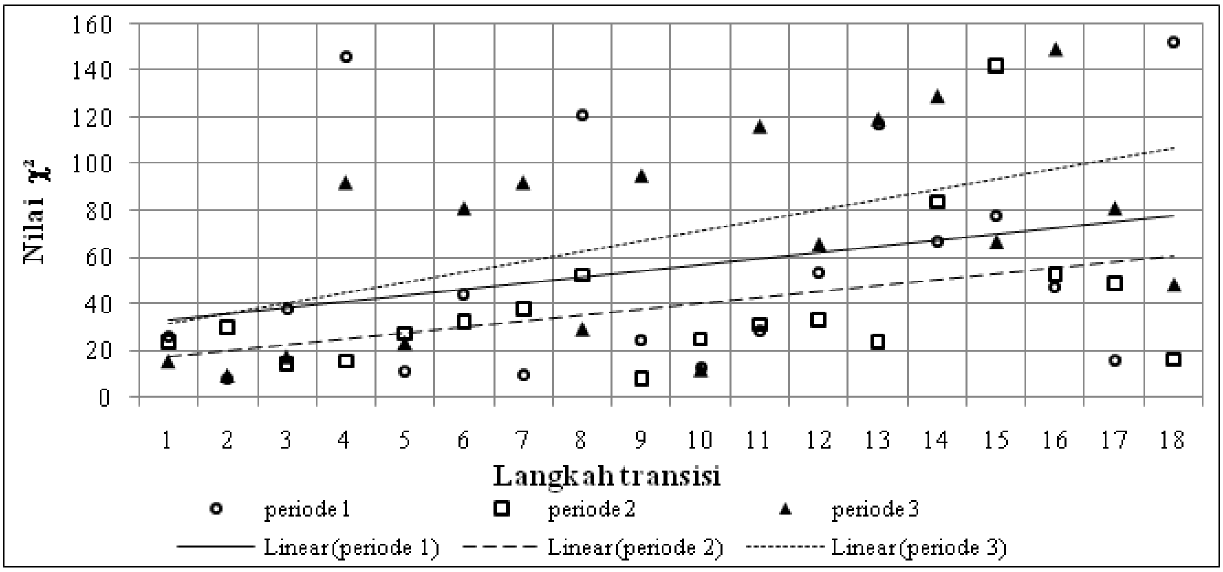
Gambar 1. Grafik persentase perbedaan jumlah hari hujan hasil simulasi dan jumlah hari hujan pengamatan pada stasiun Muara Lembu

Analisa terhadap perbedaan total curah hujan hasil simulasi dan hasil pengamatan menunjukkan bahwa persentase perbedaannya akan semakin bertambah besar bila banyaknya tahun yang disimulasikan semakin besar, seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Dari hasil uji Chi-Kuadrat terhadap proses simulasi pada tiap transisi dapat ditentukan bagaimana kehandalan rantai Markov. Nilai – nilai Chi-Kuadrat yang telah diperoleh, ditampilkan dalam bentuk grafik sesuai dengan langkah transisinya. Dengan panjang data 10 tahun pada stasiun Muara Lembu seperti pada Gambar 3 menunjukkan nilai Chi-Kuadrat akan bertambah besar dengan bertambah banyaknya langkah transisi dari rantai Markov. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan atau kehandalan rantai Markov berbeda-beda pada tiap-tiap transisinya.



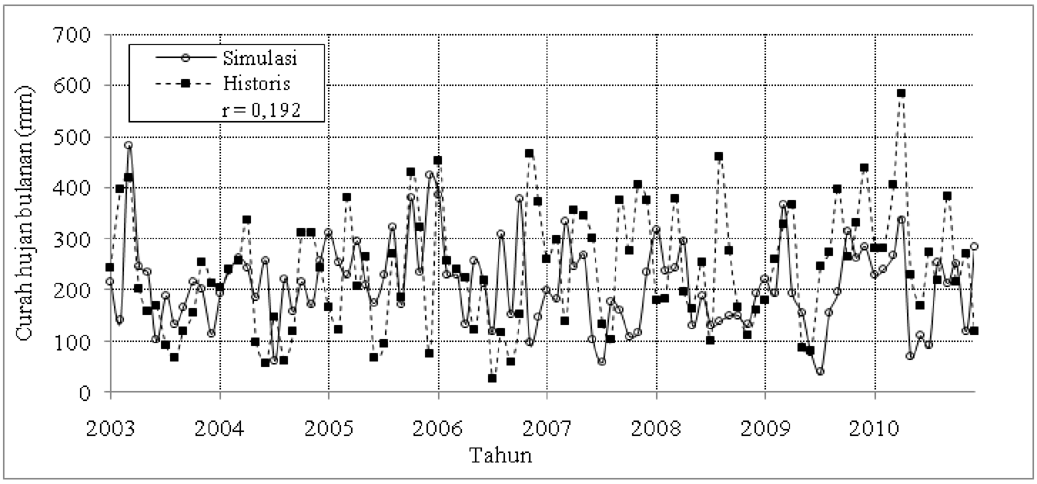
Gambar 2. Grafik persentase perbedaan total curah hujan hasil simulasi dan total curah hujan pengamatan pada stasiun Muara Lembu



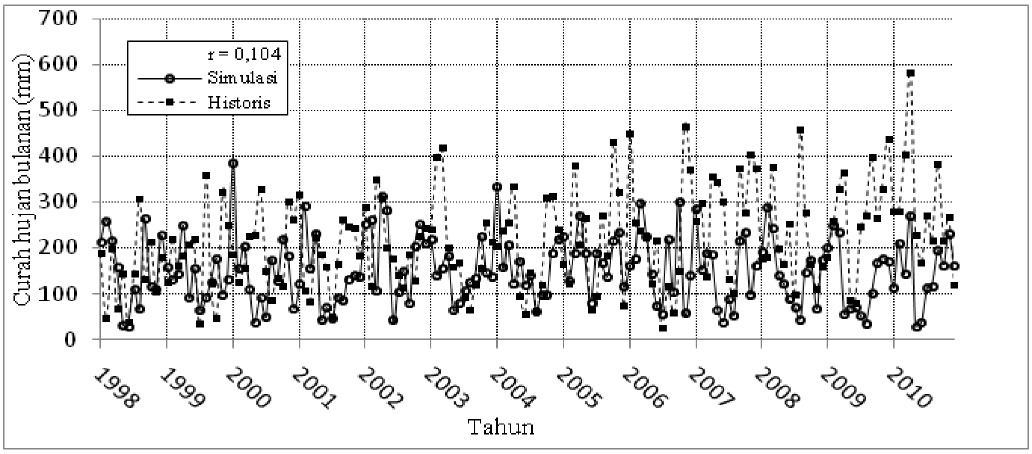
Gambar 3. Grafik nilai Chi-Kuadrat tiap langkah transisi rantai Markov pada stasiun Muara Lembu dengan panjang data 10 tahun

Jurnal Sains dan Teknologi 11 (1), Maret 2012: 11-17
ISSN 1412-6257

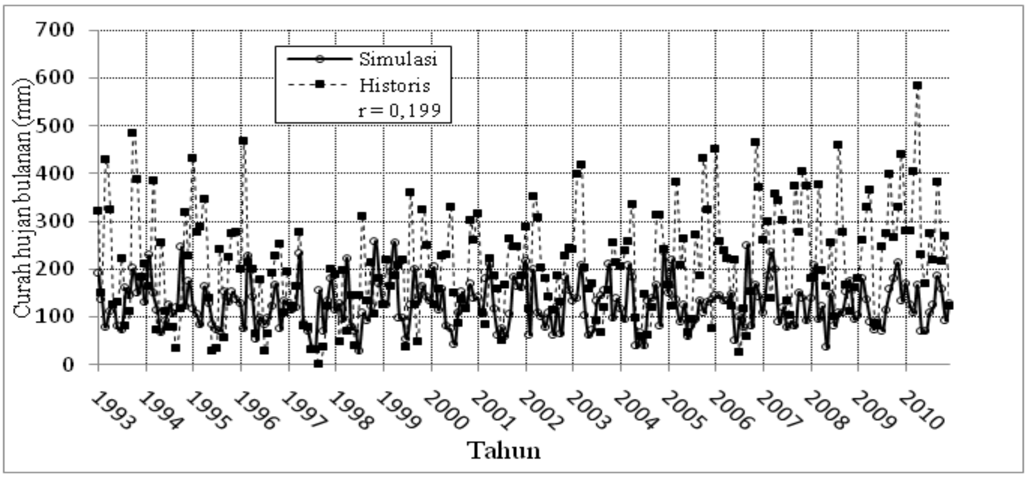
Hubungan kesesuaian antara data simulasi dan data pengamatan ditentukan dengan tingkat kemiripan pola grafik curah hujan bulanan. Dengan menentukan nilai koefisien korelasi dari grafik kedua data tersebut, maka dapat ditentukan apakah data curah hujan bulanan simulasi mempunyai pola yang sama dengan data curah hujan bulanan pengamatan. Hubungan kesesuaian antara data simulasi dan data pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4 yang menyajikan grafik curah hujan bulanan pada stasiun Muara Lembu dengan panjang data 20 tahun.



(a) Panjang data 20 tahun



(b) Panjang data 15 tahun



(c) Panjang data 10 tahun

Gambar 4. Grafik total curah hujan bulanan data simulasi dan pengamatan pada stasiun Muara Lembu (a) panjang 20 tahun, (b) panjang data 15 tahun dan panjang data 10 tahun

Hubungan grafik curah hujan bulanan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (r) kedua grafik adalah 0,192 (untuk panjang data 15 tahun, r = 0,104 dan untuk panjang data 10 tahun, r = 0,199; r_{kritik} = 0,125). Dengan melihat tabel batas kritik koefisien korelasi, untuk n = 96 dan tingkat signifikan 5%, maka batas kritik untuk r_{kritik} adalah 0,201 (untuk panjang data 15 tahun, r_{kritik} = 0,156 dan untuk panjang data 10 tahun, r_{kritik} = 0,138). Karena nilai r pada tabel lebih besar dari nilai r hitungan, maka dapat disimpulkan bahwa model stokastik rantai Markov memberikan hasil yang kurang baik.Ringkasan hasil yang diperoleh dari pembahasan di atas cukup memuaskan, walaupun hasil simulasi kurang baik atau tidak sesuai dengan apa yang diinginkan. Hal ini disebabkan karena tidak dilakukannya *data screening*, distribusi probabilitas curah hujan yang diterapkan tidak sesuai dengan data curah hujan yang akan digunakan dan tidak membuat pemrograman dari bahasa computer seperti bahasa *Fotrans*, bahasa *Turbo Basic*, dan sejenisnya.

Oleh sebab itu, kekurangan dari penelitian ini sangat diharapkan untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data yang dilakukan sebelumnya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian yang dilakukan terhadap 120 data tiap-tiap stasiun menyatakan bahwa tidak lebih dari 50% data curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan curah hujan hasil pengamatan, dan bahwa kurang dari 30% data curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan distribusi gama.
2. Tingkat kesalahan pada simulasi deretan hari hujan dan kering akan bertambah besar jika langkah transisi rantai Markov bertambah, kecuali pada stasiun Lipat Kain dan stasiun Pasar Kampar dan tingkat kesalahan pada simulasi besar curah hujan untuk stasiun yang ada di DAS Kampar akan bertambah besar jika langkah transisi rantai Markov bertambah.
3. Dengan bertambah panjangnya panjang data yang digunakan, umumnya akan menghasilkan nilai Chi-Kuadrat yang lebih kecil dan mempunyai tingkat kesalahan yang lebih kecil.
4. Tingkat kehandalan rantai Markov dalam mensimulasi data curah hujan di DAS Kampar adalah rendah karena nilai koefisien korelasi (r) antara model dan pengamatan lebih kecil dari nilai koefisien korelasi kritik.

DAFTAR PUSTAKA

Alfredo H-S, Wilson H, & Binsar H. 1975. *Konsep-Konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa Jilid 1*. Jakarta. Erlangga

Aswin, R. 2010. *Penentuan Peluang Transisi t Langkah dalam Rantai Markov dan Penerapannya di Bidang Pertanian*. Skripsi Jurusan Matematika FMIPA. Medan. Universitas Sumatra Utara.

Erwanto, A., Sudira, P., & Supatmo, S., 1992. Pembangkitan Data Hujan Harian dengan Model Rantai Markov untuk Penyediaan Air Irigasi. Universitas Gajah Mada. 12: 31-33.

Jovanovic, S., Dakkak, A.R., Cabric, M., & Brajkovic, M., 1974. Simulation of Daily Rainfall Series Using Markov Chain Models. *Institute for the Water Resources Development*. 1: 110-120.

Kottegoda, NT., 1980. *Stochastic Water Resources Technology*. London. The Macmillan Press Ltd.

Linslay, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L., & Hermawan, Y., 1996. *Hidrologi untuk Insinyur*. Jakarta. Erlangga.

Praptono. 1996. *Materi Pokok Pengantar Proses Stokastik*. Jakarta. Universitas Terbuka.

Prihantoro, K, 2009. *Markov Chain*. Skripsi Jurusan Teknik Industri. Universitas Gunadarma.

Sugiyono, 2010. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung. Penerbit Alfabeta.

Sukadi, 2005. Perkiraan Karakteristik Curah Hujan dengan Analisis Bangkitan Dat*a*. UPI Bandung. 2: 46 - 56.

Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta. Penerbit Andi.

Sebayang, M. 2004. *Probabilitas dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa*. Pekanbaru. Teknik Sipil FT UR.