

**SIMULASI DATA CURAH HUJAN HARIAN MENGGUNAKAN
STOKASTIK RANTAI MARKOV DENGAN ORDE 3 X 3
(STUDI KASUS : DAERAH ALIRAN SUNGAI KAMPAR)**

Rahmad Sandi¹⁾, Bambang Sujatmoko²⁾, Mardani Sebayang²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : rahmadsandi.0807113515@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study is to predict daily rainfall data and gain an overview of the parameters of daily rainfall simulation models to investigate two state, the dry state and the wet state. Analysis of daily rainfall simulation models in the Kampar river basin consists of two main models, namely simulated rainy days and dry days and simulation of the rainfall with Markov chain . Daily rainfall data 1983 to 2010. The stations are Koto Baru Station, Muara Lembu Station, Pasar Kampar station, Lipat Kain station. Rainfall data were divided into 4 length data 10, 15, 20 and 27 years. Each time series was constructed such that the events in question had the same opportunities as continuous recording results. Rainfall simulation results were tested using Chi Square test. With the increase in length of data used, generally will result in the value of Chi-Square are smaller and have a smaller error rate..

Keywords: dry state, wet state, Markov chain, length of data, chi squared test

A. PENDAHULUAN

Keberhasilan dalam perencanaan curah hujan ditentukan oleh tersedianya data yang kontinyu dan akurat, serta analisis hidrologi yang sesuai. Dalam beberapa kasus sering ditemukan bahwa catatan curah hujan yang panjang tidak tersedia, keadaan ini dapat diakibatkan rusaknya alat pengukur atau sebab lainnya. Dengan demikian, data curah hujan yang terlalu pendek menjadi kurang mewakili untuk suatu perencanaan yang teliti. Hal ini merupakan suatu kekurangan serius, sebab suatu rangkaian data penelitian yang didapat tidaklah identik dengan kejadian di masa mendatang, sehingga sifat data tersebut kurang memberikan informasi untuk suatu perancangan yang teliti.

Oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan yang sering terjadi dalam pencatatan data curah hujan tersebut maka digunakan model stokastik untuk menurunkan data, yang menirukan sifat statistik data tercatat. Melalui fungsi matematis dapat dibuat rangkaian waktu hasil pencatatan, tetapi dengan tetap

mempertahankan sebagian dari sifat-sifat statistiknya. Analisa stokastik digunakan karena faktor ketidakpastian yang menyertai suatu karakteristik hidrologis.

Sama halnya seperti yang terjadi pada stasiun pengukur curah hujan yang ada di wilayah Daerah Aliran Sungai Kampar, Kabupaten Kampar Provinsi Riau. Dimana data curah hujan yang didapat dari 4 stasiun pengukur curah hujan, yaitu Stasiun Pasar Kampar, Stasiun Muara Lembu, Stasiun Lipat Kain, dan Stasiun Koto Baru pada tahun lalu tidaklah sama dengan curah hujan pada tahun yang akan datang.

Salah satu model analisis stokastik yang dapat dipergunakan untuk mengatasi ketidakpastian ini adalah model stokastik rantai markov. Dimana stokastik rantai markov ini merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilistik yang bersifat bahwa peluang keadaan proses pada suatu saat bergantung pada keadaan hari hari sebelumnya.

Stokastik rantai Markov telah banyak diterapkan oleh beberapa peneliti

khususnya dalam bidang hidrologi di berbagai negara. Di Indonesia rantai Markov telah diterapkan di Yogyakarta yaitu daerah irigasi Van Der Wijck dan Irigasi Kali Progo oleh Erwanto, *et al* pada tahun 2006. Hasil penelitian Erwanto, *et al* (2006) menyatakan bahwa stokastik rantai markov dapat memberikan hasil yang yang memuaskan dan cukup mewakili.

Di daerah Riau telah ada dilakukan beberapa penelitian yang berhubungan dengan rantai Markov. Muhammad Khalilullah (2012) melakukan simulasi pada kawasan DAS Kampar dan memberikan hasil kecocokan simulasi rantai Markov yang mempunyai nilai terkecil 10 % dan nilai terbesar 44,2 %, begitu pula penelitian Berlina Julyanti (2013) yang melakukan simulasi pada kawasan DAS Siak dan memberikan hasil kecocokan simulasi rantai Markov yang mempunyai nilai terkecil 20,21 % dan nilai terbesar 42.6 %. Nilai kecocokan berkisar dibawah 50 %.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Simulasi hari hujan dan hari kering

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

$$Pr(X = m) = (p_0 + p_2)^{(m-1)} p_1$$

$$Pr(Y = k) = (p_3 + p_5) p_4^{(k-1)}$$

Adapun langkah-langkah simulasinya adalah sebagai berikut:

1. Buat matriks 3X 3 probabilitas transisi dari hari basah dan kering, dan tentukan nilai p_1 hingga p_8 .

| Keadaan | Hujan | Kering | Hujan |
|---------|-------|--------|-------|
| Hujan | P_0 | P_1 | P_2 |
| Kering | P_3 | P_4 | P_5 |
| Hujan | P_6 | P_7 | P_8 |

2. Gunakan nilai p_0 hingga p_5 ke dalam persamaan di atas.
3. Langkah no. 2 dikumulatikan, dua fungsi distribusi kumulatif $F(k)$ dan $G(m)$.

4. Gunakan bilangan acak distribusi seragam pada interval (0,1) untuk membaca durasi hari basah dari fungsi distribusi hari basah dan bilangan acak yang lain untuk membaca durasi hari kering dari fungsi distribusi hari kering.
5. Langkah no. 4 diulang secara bergantian untuk hari basah dan kering dan berakhir ketika jumlah hari hingga sama dengan atau lebih besar dari banyak hari yang akan rencanakan.
6. Langkah no. 4 dan no. 5 dilakukan ulang dengan mengganti angka sehingga didapatkan hasil yang memuaskan

2. Mensimulasikan besar curah hujan

Adapun langkah-langkah simulasi menggunakan stokastik rantai Markov adalah sebagai berikut:

1. Rentang data dibagi dalam kelas sebanyak K,
2. Buat matriks dengan ordo (K) x (K),
Keadaan akhir

$$\text{Keadaan awal} \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1j} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ij} \end{bmatrix}$$

3. Matrik tersebut digunakan untuk menentukan matrik probabilitas transisi :
4. Untuk melengkapi model, tentukan nilai p_{ij} . Dalam penelitian ini digunakan distribusi gamma untuk setiap kelas, yaitu:

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

5. Hitung parameter α dan β distribusi gamma untuk tiap interval, yaitu:

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

dengan:

μ = nilai rata-rata dari frekuensi tiap kelas

σ^2 = nilai variansi dari frekuensi tiap kelas

6. Setelah konstruksi matriks transisi lengkap, angka acak pada interval (0,1) dihasilkan sebagai probabilitas transisi nilai curah hujan berikutnya (r_i) didapatkan berkaitan dengan probabilitas P_{oi} dengan memasukkan kolom pertama matriks transisi. Prosedur ini diulang dengan menghasilkan angka acak berikutnya dan memasukkan kolom ke i dari matriks transisi.
7. Proses simulasi dilakukan secara simultan pada 4 stasiun pengukur hujan dengan menggunakan rangkaian yang sama dari angka acak dan matriks transisi yang berbeda pada masing-masing stasiun.

3. Uji Kecocokan

Uji kecocokan bertujuan untuk menentukan tingkat penyimpangan atau perbedaan antara data pengamatan dengan hasil simulasi. Dengan membandingkan dua data tersebut maka dapat disimpulkan apakah simulasi menggunakan rantai Markov ini mampu meramal curah hujan yang akan datang dengan panjang data tertentu. Untuk mengetahui tingkat kesalahan dari simulasi, pada penelitian ini dilakukan uji kecocokan berupa uji Chi-Kuadrat.

Dikarenakan data yang diuji adalah data rasio, maka data harus dibentuk dalam kelas-kelas sehingga menjadi data nominal. Rumus dasar Chi-Kuadrat adalah (Suripin, 2004):

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dengan:

χ_h^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung

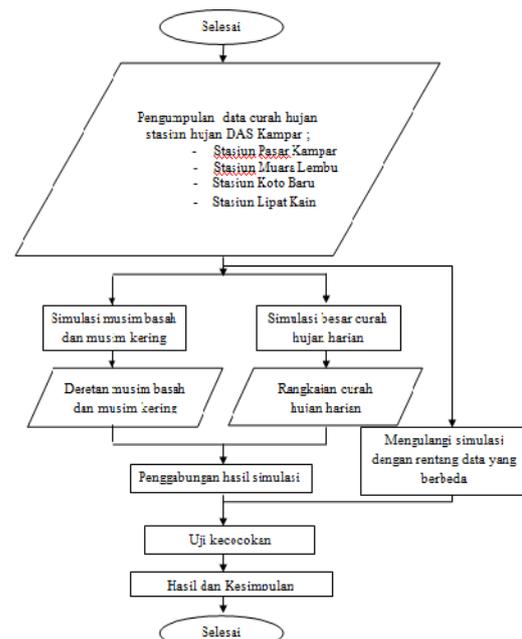
n = Jumlah sub kelompok

O_i = Frekuensi dari data yang diobservasi pada sub kelompok i

E_i = Frekuensi dari data yang diharapkan pada sub kelompok i dengan derajat kebebasan (dk) = $n - 1$

C. METODOLOGI PENELITIAN

Proses pelaksanaan studi ini pada prinsipnya terbagi dalam tiga bagian yaitu pengumpulan data, pengolahan data/perhitungan dan keluaran berupa hasil analisa sebagai rekomendasi kepada pihak yang membutuhkan. Langkah-langkah yang diambil dalam prosedur penelitian ini adalah studi literatur dan pengumpulan data. Pola pikir pelaksanaan studi dalam penelitian ini adalah seperti yang digambarkan dalam bagan alir di bawah ini.



Gambar 3.1. Bagan alir penelitian

D. HASIL DAN PEMBAHASA

1. Frekuensi probabilitas bersyarat hari hujan dan kering

Tabel 1. Probabilitas Hari hujan dan Kering

| Periode | Hari | basah | kering | basah | total | P0 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|---------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|----|
| 1 | basah | 768 | 701 | 742 | 2211 | 0,3474 | 0,3171 | 0,3356 | | | | | | |
| | kering | 695 | 1079 | 694 | 2468 | | | | 0,2816 | 0,4372 | 0,2812 | | | |

| Periode | Hari | basah | kering | basah | total | P0 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|---------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | basah | 742 | 701 | 663 | 2106 | | | | | | | 0,3523 | 0,3329 | 0,3148 |
| 2 | basah | 309 | 583 | 297 | 1189 | 0,2599 | 0,4903 | 0,2498 | | | | | | |
| | kering | 590 | 1839 | 598 | 3027 | | | | 0,1949 | 0,6075 | 0,1976 | | | |
| | basah | 305 | 611 | 313 | 1229 | | | | | | | 0,2482 | 0,4972 | 0,2547 |
| 3 | basah | 709 | 693 | 685 | 2087 | 0,3397 | 0,3321 | 0,3282 | | | | | | |
| | kering | 691 | 1201 | 701 | 2593 | | | | 0,2665 | 0,4632 | 0,2703 | | | |
| | basah | 687 | 699 | 668 | 2054 | | | | | | | 0,3345 | 0,3403 | 0,3252 |

(Sumber : perhitungan)

2. Perhitungan untuk Rantai Markov untuk Hari Hujan dan Kering

Tabel 2. Nilai Matriks Probabilitas *steady state*

| Panjang Data | Periode | Langkah ke- | Matriks <i>steady state</i> (π_i) | | |
|--------------|---------|-------------|---|--------|--------|
| | | | | | |
| 10 tahun | 1 | 5 | 0,332 | 0,3582 | 0,3097 |
| | | | 0,332 | 0,3582 | 0,3097 |
| | | | 0,332 | 0,3582 | 0,3097 |
| | 2 | 7 | 0,2306 | 0,533 | 0,2364 |
| | | | 0,2306 | 0,533 | 0,2364 |
| | | | 0,2306 | 0,533 | 0,2364 |
| | 3 | 5 | 0,3337 | 0,3435 | 0,3228 |
| | | | 0,3337 | 0,3435 | 0,3228 |
| | | | 0,3337 | 0,3435 | 0,3228 |
| 15 tahun | 1 | 7 | 0,3355 | 0,3475 | 0,3171 |
| | | | 0,3355 | 0,3475 | 0,3171 |
| | | | 0,3355 | 0,3475 | 0,3171 |
| | 2 | 7 | 0,2257 | 0,5458 | 0,2285 |
| | | | 0,2257 | 0,5458 | 0,2285 |
| | | | 0,2257 | 0,5458 | 0,2285 |
| | 3 | 5 | 0,3249 | 0,3552 | 0,3198 |
| | | | 0,3249 | 0,3552 | 0,3198 |
| | | | 0,3249 | 0,3552 | 0,3198 |
| 20 tahun | 1 | 5 | 0,3282 | 0,3591 | 0,3126 |
| | | | 0,3282 | 0,3591 | 0,3126 |
| | | | 0,3282 | 0,3591 | 0,3126 |
| | 2 | 5 | 0,2206 | 0,5561 | 0,2233 |
| | | | 0,2206 | 0,5561 | 0,2233 |
| | | | 0,2206 | 0,5561 | 0,2233 |
| | 3 | 5 | 0,3168 | 0,373 | 0,3102 |
| | | | 0,3168 | 0,373 | 0,3102 |
| | | | 0,3168 | 0,373 | 0,3102 |
| 27 tahun | 1 | 6 | 0,3248 | 0,3659 | 0,3093 |
| | | | 0,3248 | 0,3659 | 0,3093 |
| | | | 0,3248 | 0,3659 | 0,3093 |
| | 2 | 5 | 0,2211 | 0,5571 | 0,2218 |
| | | | 0,2211 | 0,5571 | 0,2218 |
| | | | 0,2211 | 0,5571 | 0,2218 |
| | 3 | 6 | 0,3099 | 0,3851 | 0,305 |
| | | | 0,3099 | 0,3851 | 0,305 |
| | | | 0,3099 | 0,3851 | 0,305 |

(Sumber: Perhitungan)

3. Menentukan deretan hari hujan dan kering

Dalam mendapatkan suatu deretan hari hujan dan kering maka diperlukan suatu angka acak berdistribusi seragam pada interval (0,1) yang digunakan sebagai pembaca probabilitas hari hujan dan kering. Angka acak tersebut dijalankan secara bergantian.

Angka acak dapat diperoleh dari *Microsoft Excel* dengan membuat formula $=\text{RAND}()*1$ yang akan menghasilkan angka acak berdistribusi seragam dengan interval (0,1). Dengan formula tersebut maka angka acak bisa dihasilkan dengan jumlah yang banyak

Sehingga lamanya hari hujan atau nilai k' dan lamanya hari kering atau m' dapat ditentukan. Untuk mempermudah mendapatkan nilai k' dan m' maka diperlukan fungsi **IF** pada *Microsoft Excel* seperti di bawah ini:
 $=\text{IF}(\text{Logical_test};[\text{value_if_true}];[\text{value_if_false}])$

Tabel 3. Angka Acak untuk Probabilitas Hari Hujan dan Kering

| No. | angka acak | $m1'$ (hari) | angka acak | $k1'$ (hari) |
|-----|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,302 | 1 | 0,835 | 3 |
| 2 | 0,238 | 1 | 0,803 | 2 |
| 3 | 0,860 | 6 | 0,124 | 1 |
| 4 | 0,514 | 2 | 0,211 | 1 |
| 5 | 0,661 | 3 | 0,076 | 1 |
| 6 | 0,501 | 2 | 0,462 | 1 |
| 7 | 0,347 | 2 | 0,799 | 2 |
| 8 | 0,698 | 4 | 0,832 | 3 |
| 9 | 0,532 | 2 | 0,272 | 1 |
| 10 | 0,232 | 1 | 0,373 | 1 |
| 11 | 0,987 | 12 | 0,912 | 3 |
| 12 | 0,345 | 2 | 0,648 | 2 |
| 13 | 0,582 | 3 | 0,089 | 1 |
| 14 | 0,672 | 3 | 0,617 | 2 |
| 15 | 0,641 | 3 | 0,077 | 1 |
| 16 | 0,939 | 8 | 0,271 | 1 |
| 17 | 0,249 | 1 | 0,311 | 1 |
| 18 | 0,950 | 8 | 0,018 | 1 |
| 19 | 0,261 | 1 | 0,898 | 3 |
| 20 | 0,691 | 4 | 0,601 | 2 |
| 21 | 0,146 | 1 | 0,071 | 1 |

| No. | angka acak | m1' (hari) | angka acak | k1' (hari) |
|--------|------------|------------|------------|------------|
| 22 | 0,884 | 6 | 0,519 | 1 |
| 23 | 0,473 | 2 | 0,064 | 1 |
| 24 | 0,406 | 2 | 0,834 | 3 |
| 25 | 0,050 | 1 | 0,419 | 1 |
| Jumlah | | 81 | | 40 |
| 121 | | | | |

(Sumber : Perhitungan)

4. Perhitungan frekuensi probabilitas bersyarat curah hujan harian

Sebelum menghitung frekuensi probabilitas bersyarat curah hujan terlebih dahulu curah hujan dibagi beberapa kelas dengan interval tertentu. Dan diharapkan interval kelas tidak terlalu tinggi karena akan mempengaruhi hasil simulasi.

Tabel 4. Pembagian kelas dan interval curah hujan

| kelas | Interval (mm) | kelas | Interval (mm) | kelas | Interval (mm) |
|-------|--------------------|-------|------------------|-------|--------------------|
| 1 | $0 \leq X < 0,5$ | 11 | $32 \leq X < 36$ | 21 | $75 \leq X < 80$ |
| 2 | $0,5 \leq X < 2,5$ | 12 | $36 \leq X < 40$ | 22 | $80 \leq X < 85$ |
| 3 | $2,5 \leq X < 5$ | 13 | $40 \leq X < 44$ | 23 | $85 \leq X < 90$ |
| 4 | $5 \leq X < 8$ | 14 | $44 \leq X < 48$ | 24 | $90 \leq X < 100$ |
| 5 | $8 \leq X < 12$ | 15 | $48 \leq X < 52$ | 25 | $100 \leq X < 110$ |
| 6 | $12 \leq X < 16$ | 16 | $52 \leq X < 56$ | 26 | $110 \leq X < 120$ |
| 7 | $16 \leq X < 20$ | 17 | $56 \leq X < 60$ | 27 | $120 \leq X < 140$ |
| 8 | $20 \leq X < 24$ | 18 | $60 \leq X < 65$ | 28 | $140 \leq X < 160$ |
| 9 | $24 \leq X < 28$ | 19 | $65 \leq X < 70$ | 29 | $160 \leq X < 190$ |
| 10 | $28 \leq X < 32$ | 20 | $70 \leq X < 75$ | 30 | $190 \leq X < 220$ |

(Sumber : Perhitungan)

5. Perhitungan Distribusi Gamma

Untuk membentuk matriks probabilitas transisi maka digunakan distribusi gamma. Pada distribusi gamma terdapat parameter α dan β yang didapatkan dari perhitungan frekuensi tiap kelas interval.

6. Menentukan besar curah hujan harian

Dalam menentukan besar curah hujan diperlukan matriks probabilitas transisi yang telah dibentuk sebelumnya dan sejumlah angka acak berdistribusi seragam. Matriks probabilitas transisi yang telah dihasilkan akan dikumulatifkan dalam tiap kelas sehingga tiap kelasnya terdapat nilai probabilitas kumulatif dari distribusi gamma. Perhitungan dilakukan dengan menyocokkan antara angka acak dan nilai probabilitas kumulatif. Dimisalkan hari pertama adalah

hujan kelas 1 maka diambil angka acak pertama (U_1) dan memasukkan pada baris pertama dari matriks transisi kumulatif sehingga besar curah hujan berikutnya (r_1) dapat ditemukan sesuai dengan probabilitas kumulatif P_{0j} dimana r adalah nilai tengah dari interval kelas curah hujan. Selanjutnya diambil angka acak berikutnya (U_2) dan memasukkan pada baris matriks transisi kumulatif dengan kelas sesuai besar curah hujan (r_1) yang dihasilkan sebelumnya sehingga besar curah hujan berikutnya (r_2) dapat ditemukan sesuai dengan probabilitas kumulatif P_{ij} . Prosedur ini dilanjutkan dengan mengambil angka acak berikutnya (U_n) dan memasukkan pada baris matriks transisi kumulatif sesuai dengan kelas besar curah hujan yang dihasilkan sebelumnya (r_{n-1}) sehingga dihasilkan besar curah hujan berikutnya (r_n). Prosedur seperti di atas dilakukan dan dihentikan apabila telah dihasilkan besar curah hujan (r) sebanyak jumlah hari hujan yang dihasilkan pada simulasi hari hujan dan kering. Untuk mendapatkan hasil yang baik maka angka – angka acak (U) diganti-ganti sehingga didapatkan distribusi curah hujan yang dihasilkannya sesuai atau mendekati dengan distribusi curah hujan pada panjang data yang digunakan.

Tabel 5. Hasil simulasi besar curah hujan

| No. | Hasil simulasi besar curah hujan (mm) | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 30 | 42 | 95 | 115 | 105 | 30 | 1,25 | 18 | 3,75 |
| 2 | 22 | 72,5 | 30 | 22 | 14 | 72,5 | 14 | 10 | 87,5 |
| 3 | 6,5 | 30 | 72,5 | 42 | 58 | 14 | 30 | 77,6 | 1,5 |
| 4 | 3,75 | 6,5 | 3,75 | 34 | 3,75 | 3,75 | 38 | 6,5 | 10 |
| 5 | 42 | 77,5 | 87,5 | 22 | 42 | 54 | 6,5 | 26 | 1,5 |
| 6 | 22 | 34 | 10 | 10 | 26 | 14 | 14 | 1,25 | 26 |
| 7 | 6,5 | 38 | 6,5 | 67,5 | 77,5 | 67,5 | 72,5 | 3,75 | 6,5 |
| 8 | 10 | 14 | 26 | 22 | 26 | 10 | 18 | 82,5 | 72,5 |
| 9 | 67,5 | 18 | 10 | 3,75 | 42 | 6,5 | 14 | 30 | 14 |
| 10 | 6,5 | 26 | 38 | 50 | 14 | 34 | 14 | 18 | 30 |

(sumber : perhitungan)

7. Penggabungan hasil simulasi

menggabungkan hasil simulasi hari hujan dan kering dengan hasil simulasi besar curah hujan.

Tabel 6. Curah hujan harian simulasi (mm)

| Tanggal | Jan | Feb | Maret | April |
|---------|-----|-----|-------|-------|
| 1 | 30 | 95 | 3,75 | 38 |
| 2 | - | - | 50 | - |
| 3 | - | - | 105 | 6,5 |

- a. Hasil uji Chi-Kuadrat terhadap data pengamatan yang menyatakan sesuai atau cocok adalah 7,5 % pada stasiun Muara Lembu, 8,33 % pada stasiun Lipat Kain, 6,67 % pada stasiun Koto Baru dan 9,17 % pada stasiun pasar Kampar. Jadi, Hasil uji Chi-Kuadrat yang dilakukan tiap stasiun di DAS Kampar menyatakan bahwa tidak lebih dari 50% curah hujan hasil simulasi sesuai atau cocok dengan curah hujan hasil pengamatan.
- b. Tingkat kesalahan pada simulasi deretan hari hujan dan kering akan bertambah besar jika langkah transisi rantai Markov bertambah. Dan Tingkat kesalahan pada simulasi besar curah hujan untuk stasiun yang ada di DAS Kampar akan bertambah besar jika langkah transisi rantai Markov bertambah.
- c. Keandalan rantai Markov yang mempunyai tingkat kesalahan paling sedikit pada simulasi deretan hari hujan dan kering yaitu 18,05 % pada stasiun Muara Lembu dengan transisi ke-5 dan panjang data 20 tahun, 4,55 % pada stasiun Koto Baru dengan transisi ke-1 dan panjang data 10 tahun, 4,77 % pada stasiun Lipat Kain dengan transisi ke-5 dan panjang data 20 tahun dan 12,92 % pada stasiun Pasar Kampar dengan transisi ke-2 dan panjang data 15 tahun.
- d. Keandalan rantai Markov yang mempunyai tingkat kesalahan paling sedikit pada simulasi besar curah hujan harian yaitu 15,62 % pada stasiun Muara Lembu dengan transisi ke-1 dan panjang data 10 tahun, 19,27 % pada stasiun Koto Baru dengan transisi ke-11 dan panjang data 10 tahun, 11,98 % pada stasiun Lipat Kain dengan transisi ke-15 dan panjang data 10 tahun dan 13,76 % pada stasiun Pasar Kampar dengan transisi ke-3 dan panjang data 10 tahun.

Penyediaan Air Irigasi. *Universitas Gajah Mada*. 12: 31-33.

Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

Hillier, Lieberman. 2005. *Introduction to Operation Research, eight edition*. Mc Grow-Hill. *International Edition*.

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.

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

F. DAFTAR PUSTAKA

Erwanto, A., Sudira, P., & Supatmo, S. 2006. Pembangkitan Data Hujan Harian dengan Model Rantai Markov untuk