

KESESUAIAN METODE *FUZZY AUTO-REGRESSIVE* UNTUK MODEL CURAH HUJAN DI INDONESIA

Muhammad Rusdi

Politeknik Negeri Medan

Jln. Almamater No. 1 Kampus USU Medan, Telp. 08126039901

E-mail : m_rusdi2004@yahoo.com;

Abstract

Rain is one of the attenuation factors in very high frequency radio wave. Attenuation caused by rainfall gives a big impact in communication systems, especially wireless communication systems at millimeter-wave. This paper seeks to apply the fuzzy auto-regressive model (fuzzy AR) for rainfall in Indonesia. In this study, firstly the rainfall is measured, followed by getting the fuzzy variables for each event of rainfall measurements. Thirdly, the fuzzy variables based on the timing of the rain to get a fuzzy time series is set, and fourth step is the fuzzy time series modeling as a fuzzy AR(2) process. The fifth is estimating the matrix of model parameter, and the last step is simulating the generation of rainfall using fuzzy AR(2) model. The results obtained from the generation of simulated rainfall with Fuzzy AR(2) shows a good agreement with the actual measurement results.

Keywords : *rainfall, fuzzy variable, fuzzy auto-regressive (fuzzy AR)*

Abstrak

Hujan merupakan salah satu penyebab terjadinya redaman terhadap gelombang radio pada frekuensi yang sangat tinggi. Redaman yang diakibatkan oleh curah hujan memberikan pengaruh yang sangat besar di dalam sistem komunikasi terutama sistem komunikasi nirkabel pada gelombang milimeter. Pada makalah ini, fuzzy auto-regressive (fuzzy AR) untuk pemodelan curah hujan di Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertama melakukan pengukuran curah hujan, kedua mendapatkan variabel fuzzy dari setiap kejadian curah hujan hasil pengukuran, ketiga menyusun variabel fuzzy berdasarkan waktu terjadinya hujan untuk mendapatkan deret waktu fuzzy, keempat memodelkan deret waktu fuzzy tersebut sebagai proses fuzzy AR(2), kelima mengestimasi matriks parameter model tersebut, dan terakhir melakukan simulasi pembangkitan curah hujan dengan model fuzzy AR(2). Dari pembahasan diperoleh bahwa hasil pembangkitan curah hujan dengan simulasi fuzzy AR(2) mendekati hasil pengukuran yang sebenarnya.

Kata kunci: *curah hujan, variable fuzzy, fuzzy auto-regressive (fuzzy AR)*

1. PENDAHULUAN

Redaman yang diakibatkan oleh curah hujan memberikan pengaruh yang sangat besar di dalam sistem komunikasi terutama sistem komunikasi nirkabel pada gelombang milimeter (10-40 GHz). Untuk sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter, fading yang diakibatkan oleh hujan cukup besar dan dapat mengurangi keandalan sistem. Indonesia yang merupakan negara tropis dengan intensitas curah hujan yang tinggi tentunya akan sangat merasakan efek redaman curah hujan tersebut terutama untuk pengembangan sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter. Sebagai ilustrasi, sistem komunikasi radio pada frekuensi 30 GHz melalui lintasan radio sepanjang 5 km saja di Surabaya dapat mengalami redaman hujan yang mencapai 80 dB, ekuivalen dengan pelemahan daya atau fading sampai 10^{-8} kali [1].

Terdapat beberapa cara untuk mengatasi permasalahan *anti-fading* terhadap redaman hujan yaitu menggunakan teknik diversitas sel ataupun modulasi adaptif [2]. Salah satu cara untuk menguji teknik-teknik tersebut adalah dengan mensimulasikan sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter yang menerapkan teknik tersebut dalam kondisi hujan. Untuk itu diperlukan pemodelan statistik dari curah hujan untuk mengemulasi tingkah laku hujan.

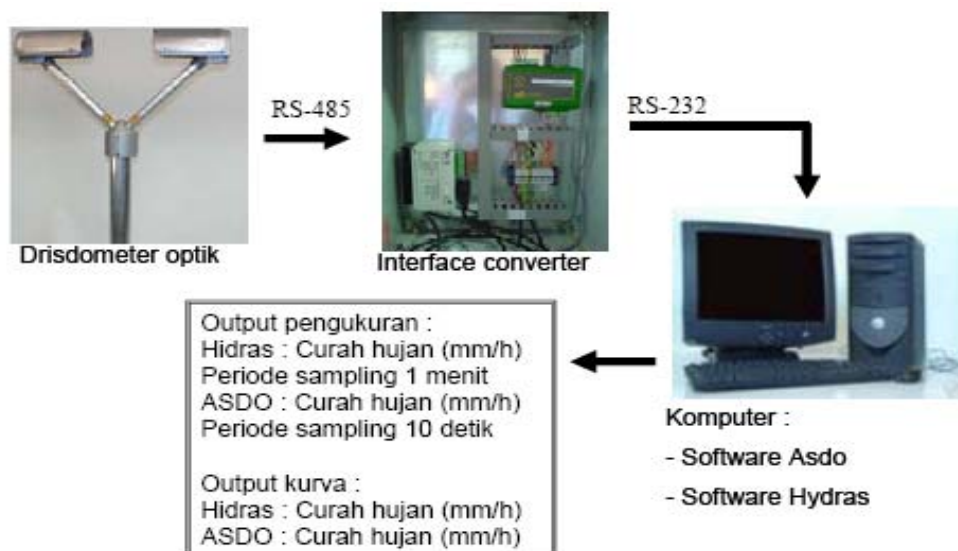
Telah banyak dilakukan penelitian tentang pemodelan statistik curah hujan. Salah satu hasil penting menyatakan bahwa intensitas atau curah hujan (mm/jam) dan redaman hujan (dB) dapat dideskripsikan sebagai variabel acak berdistribusi lognormal [3]. Model yang berbasis pada proses *auto-regressive* (AR) mengasumsikan kondisi hujan yang stasioner padahal hujan merupakan proses yang tidak stasioner [4,5]. Penelitian lainnya telah memodelkan curah hujan sebagai proses *auto-regressive moving-average* (ARMA) [6]. Dalam model ini curah hujan diasumsikan sebagai proses yang stasioner dan berdistribusi lognormal.

Pada makalah ini akan diperkenalkan pemodelan curah hujan dengan fuzzy *autoregressive* (fuzzy AR). Setiap kejadian curah hujan dimodelkan sebagai variabel fuzzy. Bila variabel fuzzy ini diurutkan berdasarkan waktu, maka akan membentuk deret waktu dengan data fuzzy dan disebut sebagai fuzzy *time series*. Deret waktu fuzzy dari curah hujan ini yang akan dimodelkan sebagai proses fuzzy AR. Pengukuran curah hujan dilakukan di lingkungan kampus ITS Sukolilo Surabaya dengan menggunakan alat *disdrometer* optik [2,7].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pengukuran Curah Hujan

Pengukuran curah hujan dilakukan di lingkungan kampus ITS Surabaya pada periode Januari-Maret 2007. Sistem pengukuran dengan *disdrometer* ini dapat dilihat pada Gambar 1 [2,7]. Dari hasil pengukuran, ternyata curah hujan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu curah hujan di bawah dan sama dengan atau lebih besar 25 mm/h yang masing-masing disebut curah hujan statis (*stratiform*) dan konvektif (*convective*) [8].



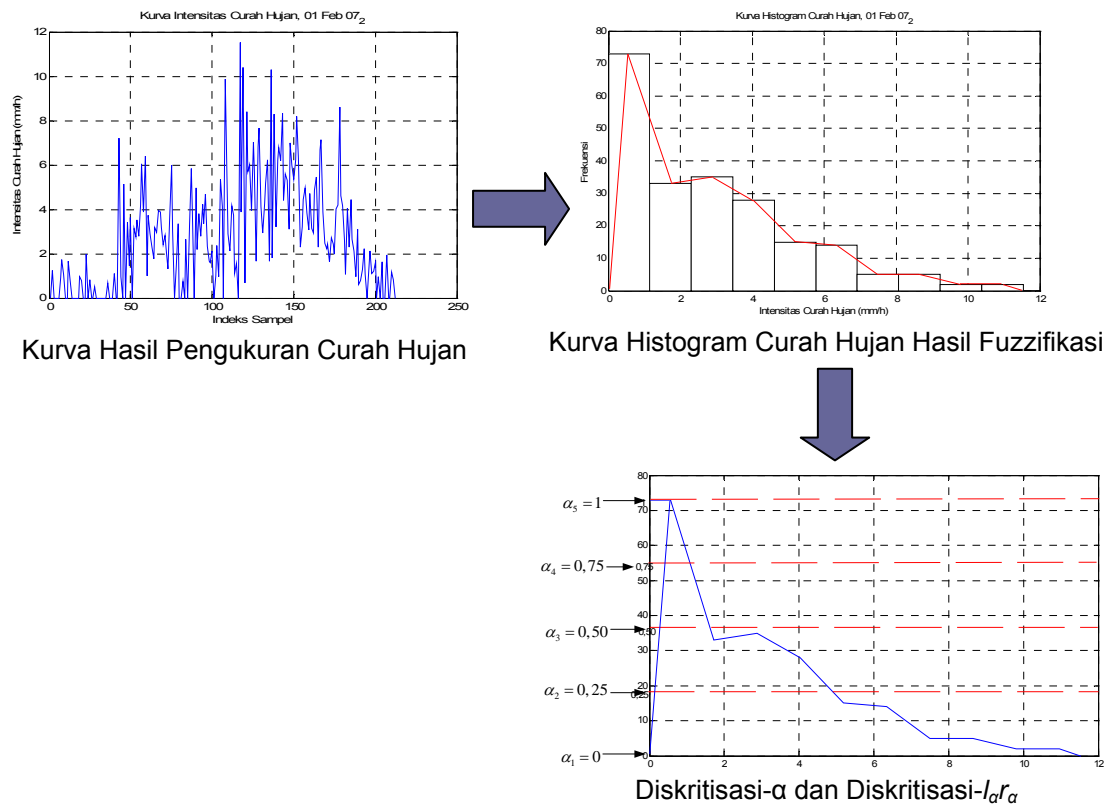
Gambar 1. Sistem pengukuran curah hujan dengan *disdrometer*

2.2. Penentuan Variabel Fuzzy Dari Curah Hujan

Langkah-langkah memperoleh variabel fuzzy curah hujan dilakukan sebagai berikut:

- a. Fuzzifikasi, yaitu memetakan curah hujan terhadap fungsi keanggotaannya sebagai berikut:
 - Membagi sampel tiap kejadian dalam sepuluh interval mulai intensitas curah hujan terkecil sampai yang terbesar dan menyusunnya dalam kurva histogram.
 - Memetakan curah hujan terhadap derajat keanggotaannya. Curah hujan yang memiliki frekuensi paling besar memiliki derajat keanggotaan (μ_x) sama dengan satu (1), dan selain itu sama dengan nol (0).
- b. Diskritisasi- α , yaitu dengan cara membagi kurva histogram curah hujan yang telah difuzzifikasi kedalam n level yang sama besar.
- c. Diskritisasi- l_{α} yaitu dengan cara mencari titik koordinat x pada kurva yang berpotongan dengan garis pada masing-masing level α .

Contoh fuzzifikasi, diskritisasi- α , dan diskritisasi- l_{α} dengan $n = 5$ dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fuzzifikasi, diskritisasi- α , dan diskritisasi-lara dari curah hujan dengan $n = 5$

2.3. Deret Waktu Fuzzy dari Curah Hujan

Setiap kejadian curah hujan diubah menjadi variabel fuzzy. Bila variabel fuzzy ini disusun berdasarkan waktu τ akan membentuk deret waktu dengan data fuzzy atau disebut deret waktu fuzzy (*fuzzy time series*). Jumlah seluruh variabel fuzzy dari kejadian curah hujan berjumlah 92 kejadian dan dibagi atas dua kelompok, yaitu statis (*stratiform*) dan konvektif (*convective*) Gambar 3 dan 4 merupakan grafik dua kelompok deret waktu fuzzy.

2.4. Model Fuzzy AR Curah Hujan

Setelah mendapatkan deret waktu fuzzy dengan curah hujan sebagai variabel fuzzy, kemudian memodelkannya sebagai proses fuzzy AR. Untuk kelompok pertama dipilih orde $p=1$ dan untuk kelompok kedua dipilih orde $p=2$. Sehingga persamaan model fuzzy AR untuk kelompok 1 dan 2 adalah:

$$\tilde{x}_{\tau} = \underline{A}_1 \odot \tilde{x}_{\tau-1} \oplus \underline{A}_2 \odot \tilde{x}_{\tau-2} \oplus \tilde{\varepsilon}_{\tau} \tag{1}$$

dengan \tilde{x}_{τ} adalah variabel fuzzy curah hujan hasil pengukuran. $\tilde{\varepsilon}_{\tau}$ adalah variabel fuzzy white noise pada titik waktu τ .

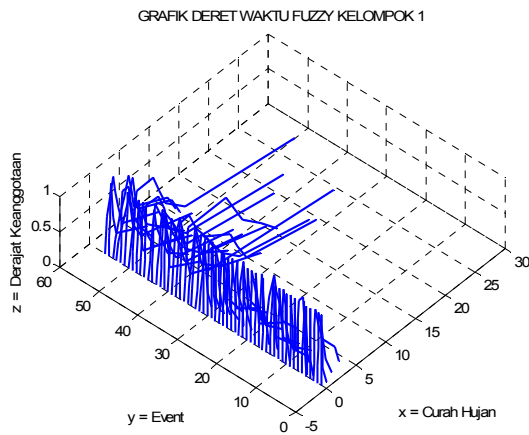
2.5. Estimasi Matriks Parameter

Estimasi matrik parameter \underline{A}_j dilakukan berdasarkan persamaan Yule-Walker [9], seperti diberikan pada persamaan (2).

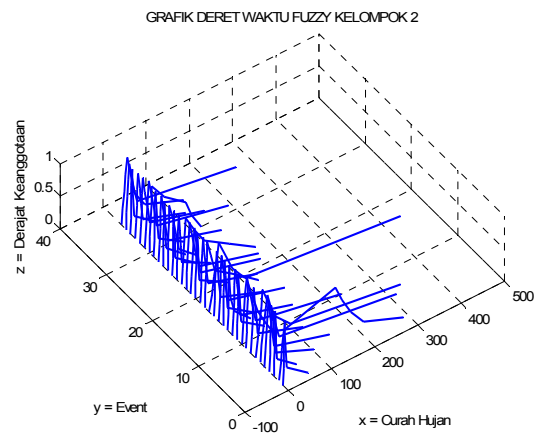
$$[\underline{A}_1, \underline{A}_2] \begin{bmatrix} {}_{lr}R_{x_{\tau}}(\Delta\tau_0) & {}_{lr}R_{x_{\tau}}(\Delta\tau_{-1}) \\ {}_{lr}R_{x_{\tau}}(\Delta\tau_1) & {}_{lr}R_{x_{\tau}}(\Delta\tau_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}_{lr}R_{x_{\tau}}(\Delta\tau_{-1}) \\ {}_{lr}R_{x_{\tau}}(\Delta\tau_{-2}) \end{bmatrix} \tag{2}$$

Dengan diketahuinya matriks parameter \underline{A}_1 yang telah diestimasi, maka variabel fuzzy white noise $\tilde{\varepsilon}_\tau$ pada titik waktu τ didapatkan melalui persamaan berikut [9]:

$$\tilde{\varepsilon}_\tau = \tilde{x}_\tau \ominus \underline{A}_1 \odot \tilde{x}_{\tau-1} \ominus \underline{A}_1 \odot \tilde{x}_{\tau-2} \tag{3}$$



Gambar 3. Deret Waktu Fuzzy Kelompok Stratiform



Gambar 4. Deret waktu fuzzy kelompok konvektif

2.6. Simulasi Model Fuzzy AR

Simulasi pembangkitan variabel fuzzy curah hujan dengan fuzzy AR(2) dilakukan secara rekursif berdasarkan persamaan (4).

$$\tilde{x}_\tau = \underline{A}_1 \odot \tilde{x}_{\tau-1} \oplus \underline{A}_2 \odot \tilde{x}_{\tau-2} \oplus \tilde{\varepsilon}_\tau \tag{4}$$

dengan $\tilde{x}_{\tau-u} = \begin{cases} 0 & \text{untuk } \tau - u < 1 \\ \tilde{x}_{\tau-u} & \text{untuk } \tau - u \geq 1 \end{cases}, u = 1, 2$

Realisasi variabel fuzzy white noise $\tilde{\varepsilon}_\tau$ berdasarkan persamaan:

$$\tilde{\varepsilon}_\tau = \tilde{x}_\tau \ominus \underline{A}_1 \odot \tilde{x}_{\tau-1} \ominus \underline{A}_2 \odot \tilde{x}_{\tau-2} \tag{5}$$

\underline{A}_1 dan \underline{A}_2 adalah matriks parameter yang sudah diestimasi. \tilde{x}_τ adalah variabel fuzzy curah hujan pada titik waktu τ .

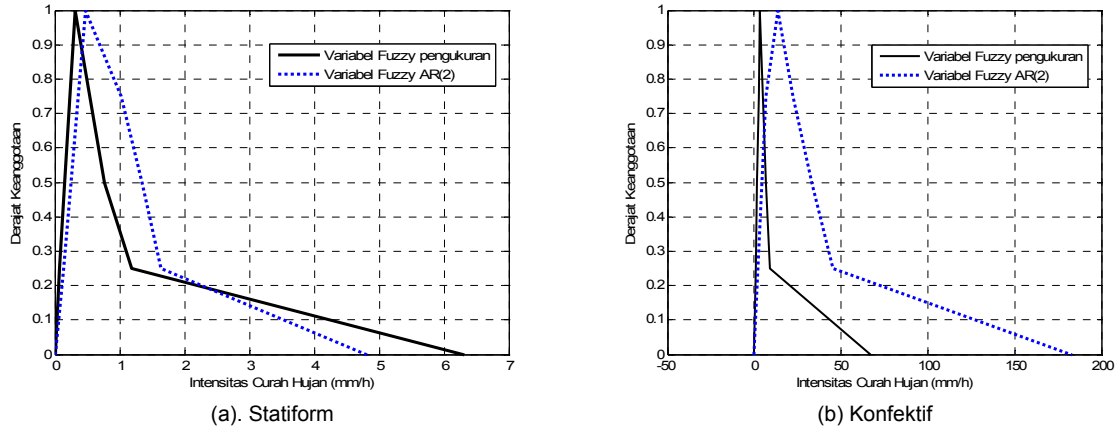
2.7. Pengujian Distribusi Curah Hujan Hasil Simulasi

Dari penelitian sebelumnya menyatakan bahwa curah hujan memiliki distribusi lognormal [3,4,5,6]. Untuk itu perlu diuji distribusi curah hujan hasil simulasi fuzzy AR(2), apakah memiliki distribusi lognormal juga. Pengujian distribusi curah hujan dilakukan dengan menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-fit tes* (KS-tes). KS-tes digunakan untuk menguji antara fungsi distribusi hipotesis dengan fungsi distribusi empiris dari hasil pengukuran.

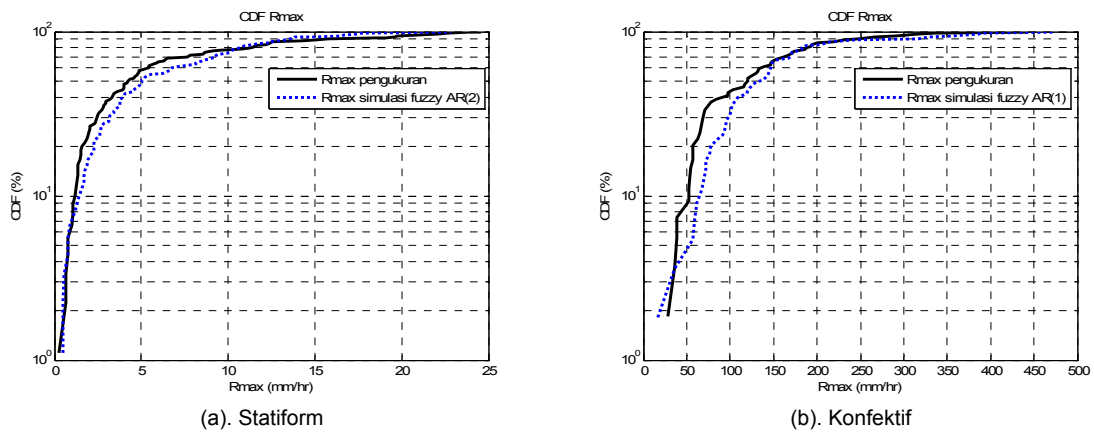
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan variabel fuzzy curah hujan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi fuzzy AR(2) dapat dilihat pada gambar 5 untuk kelompok stratiform dan konvektif. Dan perbandingan distribusi curah hujan antara hasil pengukuran dan hasil simulasi fuzzy AR(2) untuk kelompok stratiform dan konvektif dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk pengujian distribusi

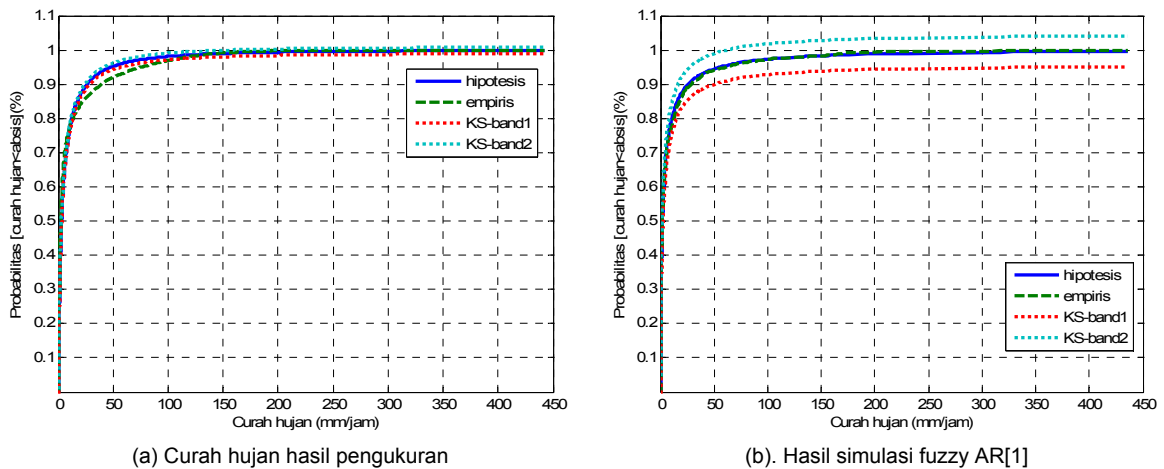
curah hujan dilakukan dengan menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-fit tes* (KS-tes). Pengujian dilakukan untuk seluruh kejadian curah hujan tanpa membedakan kelompok stratiform atau konvektif. Pada Uji KS-tes ini akan diuji pada tingkat 99%.



Gambar 5. Perbandingan variabel fuzzy pengukuran dengan hasil simulasi fuzzy AR(2) untuk kelompok stratiform dan konvektif



Gambar 6. Perbandingan kurva fungsi distribusi komulatif hasil pengukuran dengan hasil simulasi fuzzy AR(2) untuk kelompok stratiform dan konvektif



Gambar 7. Hasil Pengujian KS-tes untuk hasil pengukuran dan simulasi fuzzy AR(2)

Gambar 7.a menunjukkan distribusi hipotesis, empiris, dan *confidence band* untuk hasil pengukuran. Pada KS-tes ini akan dianalisa berdasarkan *confidence band*, bila fungsi distribusi berada dalam *confidence band*, maka hipotesis nol diterima. Untuk tingkat kepercayaan 99% pada probabilitas intensitas hujan kurang dari 0,8017 dan probabilitas di atas 0,9734 distribusi empiris diterima atau sama dengan distribusi hipotesis. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa probabilitas curah hujan hasil pengukuran di bawah 0,8017 dan di atas 0,9734 memiliki distribusi lognormal. Gambar 7.b menunjukkan distribusi hipotesis, empiris, dan *confidence band* untuk hasil pembangkitan simulasi fuzzy AR(2). Pada KS-tes ini akan dianalisa berdasarkan *confidence band*, bila fungsi distribusi berada dalam *confidence band*, maka hipotesis nol diterima. Pada Gambar 7 ini terlihat bahwa distribusi empiris berada di dalam *confidence band*, maka distribusi empiris diterima atau sama dengan distribusi hipotesis. Maka secara umum dapat dikatakan bahwa probabilitas curah hujan hasil pembangkitan simulasi fuzzy AR(2) berdistribusi lognormal.

4. SIMPULAN

Pemodelan curah hujan dengan fuzzy AR diawali dengan mengubah setiap kejadian curah hujan hasil pengukuran menjadi variabel fuzzy, kemudian seluruh variabel fuzzy ini disusun kedalam bentuk deret waktu yang disebut dengan deret waktu fuzzy. Untuk mendapatkan deret waktu yang mendekati stasioner, maka deret waktu dibagi atas dua kelompok. Kedua kelompok deret waktu fuzzy ini kemudian dimodelkan dengan proses fuzzy AR(2). Pengujian distribusi curah hujan dilakukan dengan menggunakan Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-fit tes (KS-tes). Dari hasil pembahasan diperoleh bahwa curah hujan hasil pengukuran memiliki distribusi lognormal dan curah hujan hasil pembangkitan simulasi fuzzy AR(2) juga memiliki distribusi lognormal. Ini membuktikan bahwa hasil simulasi fuzzy AR(2) mendekati hasil pengukuran yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Salehudin M, Hanantasena B, Wijdeman L. *Ka Band Line-of-Sight Radio Propagation Experiment in Surabaya Indonesia*. 5th Ka-Band Utilization Conference. Taormina. 1999:161-165.
- [2]. Hendranto G, Mauludiyanto A, Handayani P. *A Measurement System for Space-Time Variation of Rainfall Rate and Millimeter-Wave Specific Attenuation in Indonesia*. Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference. Yokohama. 2006:1-4.
- [3]. Lin SH. *A Method for Calculating Rain Attenuation Distribution on Microwave Paths*. *Technical Journal*. 1975;54(6):1051-1083.
- [4]. Hendranto G, Mauludiyanto A, Handayani P. *An Autoregressive Model for Simulation of Time Varying Rain Rate*. 10Th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and URSI Conference. Ottawa. 2004:613-616.
- [5]. Hendranto G, Indrabayu, Suryani T, Mauludiyanto A. *A Multivariate Autoregressive Model for Rain Attenuation on Multiple Short Radio Link*. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2006;5(1):54-57.
- [6]. Yadnya MS, Mauludiyanto A, Hendranto G. *Statistical of Rain Rates for Wireless Channel Communication in Surabaya*. 5th IFIP International Conference on WOCN. Surabaya. 2008:1-5.
- [7]. Rusdi M. *Penerapan Model Fuzzy ARMA untuk Curah Hujan di Surabaya*. Tesis. Surabaya: Pascasarjana ITS; 2009.
- [8]. Mauludiyanto A, Muriani, Markis L, Hendranto G, Matsushima A. *Preliminary Results from the Study of Raindrop Size Distribution and Rainfall Rate in Indonesia for the Development of Millimetre-Wave Systems in Tropical Regions*. ISAP. Nigata. 2007:1390:1393.
- [9]. Möller B, Reuter U. *Uncertainty Forecasting in Engineering*. New York: Springer; 2007.