

Model *Average Based FTS Markov Chain* untuk Peramalan Penggunaan *Bandwidth* Jaringan Komputer

Junaidi Noh, Wijono, dan Erni Yudaningtyas

Abstract—This paper discusses the problem of modeling the computer network bandwidth usage forecasting using averages based-fuzzy time series (FTS) are developed with a combination of Markov chains. This forecasting model development aims to get better forecasting results, especially regarding the accuracy of forecasting. Development of methods is done by inducing Markov chain method with mathematical rules and applied at a particular stage. The development model is applied to forecast traffic data bandwidth usage on a computer network. The results show that the average based FTS forecasting model with the addition of a Markov chain has a value of forecasting accuracy better than average based FTS method, with the percentage increase in average accuracy of 41.590%, if the prediction error calculation using the average difference MSE and amounted to 30.348%, if the forecasting error calculation using the average difference MAPE. With the expected results of this innovation can be applied to the management traffic bandwidth on the network computer.

Keywords— Method development, average based FTS, Markov chain, bandwidth usage.

Abstrak—Paper ini mendiskusikan masalah pemodelan pada peramalan penggunaan *bandwidth* jaringan komputer menggunakan *average based - fuzzy time series (FTS)* yang dikembangkan dengan kombinasi *Markov chain*. Pengembangan model peramalan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil peramalan yang lebih baik khususnya menyangkut akurasi hasil peramalan. Pengembangan metode dilakukan dengan cara menginduksi metode *Markov chain* dengan kaidah matematis dan diterapkan pada tahapan tertentu. Model pengembangan tersebut diterapkan pada peramalan data *traffic* penggunaan *bandwidth* pada jaringan komputer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model peramalan *average based FTS* dengan penambahan *Markov chain* memiliki nilai akurasi peramalan lebih baik dari pada metode *average based FTS*, dengan prosentasi peningkatan akurasi rata-rata sebesar 41.590 % jika perhitungan eror peramalan menggunakan selisih rata-rata MSE, dan

sebesar 30.348 % jika perhitungan eror peramalannya menggunakan selisih rata-rata MAPE. Dengan hasil tersebut diharapkan inovasi ini bisa diterapkan pada manajemen penggunaan *bandwidth* pada jaringan komputer.

Kata Kunci—Pengembangan Metode, Average Based, FTS, Markov Chain, Penggunaan Bandwidth.

I. PENDAHULUAN

PERAMALAN merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa mendatang dengan metode-metode tertentu. Berbagai metode peramalan khususnya pada peramalan time series telah banyak diusulkan dan digunakan. Diantara metode peramalan tersebut, salah satu yang sering digunakan saat ini adalah model *average based-fuzzy time series (FTS)*.

Model *Average based FTS* merupakan hasil modifikasi dari metode peramalan *FTS* standard. Model ini terdiri dari algoritma *average based* yang merupakan algoritma penentuan interval efektif, serta *FTS* yang merupakan algoritma proses logika fuzzy dan perhitungan nilai peramalan pada data *time series*.

Meskipun model ini terbilang baik dan akurat dalam peramalan, namun dari beberapa studi kasus, menunjukkan adanya sebagian hasil peramalan yang diperoleh dari model tersebut memiliki tingkat akurasi yang kurang baik jika dibandingkan dengan metode *auto regressive integrated moving average (ARIMA)* [1]. Ini berarti bahwa suatu metode peramalan belum tentu selalu memiliki kinerja dan akurasi yang baik pada setiap kasus yang diselesaikan. Sebab, kinerja suatu metode peramalan selain dipengaruhi oleh metode itu sendiri, juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik data yang diujikan, terlebih lagi jika data tersebut memiliki karakteristik linier dan non linier. Karena itu, perlu dilakukan lagi kajian (pengembangan model peramalan) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Pengembangan suatu model peramalan dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa metode dalam satu model peramalan. Penggabungan metode tersebut dapat dilakukan dengan melihat kaidah matematis yang sesuai, serta harus diteliti dan diketahui terlebih dahulu pada tahapan mana suatu metode dapat digabungkan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis mencoba melakukan kajian pengembangan model peramalan

Junaidi Noh adalah Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: junski86@yahoo.co.id)

Wijono adalah Ketua Program Studi Magister Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, (Telp: 081555788082, email: wijono@ub.ac.id)

Erni Yudaningtyas adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp. 08123390449; email : Erni_Yudaningtyas@yahoo.co.id).

average based FTS dengan cara menginduksikan rantai Markov (Markov chain) kedalam tahapan defuzzifikasi dari model tersebut. Defuzzifikasi merupakan tahapan perhitungan peramalan FTS berdasarkan pada fuzzy logic relation group (FLRG)

Pada setiap FLRG dari FTS, terdapat hubungan antara dua state yang disebut dengan current state dan next state. Current state merupakan nilai yang akan dihitung sebagai nilai peramalan. Sedangkan next state merupakan data yang digunakan sebagai syarat untuk memperoleh nilai pada current state. Karena itu hubungan antara current state dan next state dalam setiap FLRG tersebut, dapat dianggap sebagai proses bersyarat yang sejalan dengan prinsip dasar dari metode rantai Markov. Rantai Markov merupakan sebuah proses stokastik, dimana kejadian pada masa mendatang hanya bergantung pada kejadian hari ini dan tidak bergantung pada keadaan masa lampau. Rantai Markov juga terdefinisi oleh matriks peluang transisi yang memuat informasi yang mengatur perpindahan sistem dari suatu state ke state lainnya [2].

Model pengembangan ini diterapkan pada peramalan data traffic penggunaan bandwidth yang diperoleh dari unit pengkajian dan pengembangan teknologi informasi (PPTI) Universitas Brawijaya Malang. Dengan pengujian data penggunaan bandwidth tersebut diharapkan model average based FTS Markov chain dapat memberikan hasil yang lebih baik khususnya pada tingkat akurasi peramalan.

II. DASAR TEORI

A. Pengertian peramalan

Peramalan atau forecasting merupakan perkiraan mengenai sesuatu yang belum terjadi [3]. Peramalan juga didefinisikan sebagai seni dan ilmu untuk memperkirakan kejadian dimasa depan. Hal ini dapat dilakukan dengan melibatkan pengambilan data dimasa lalu dan menempatkannya ke masa yang akan datang dengan suatu model matematis. Peramalan biasanya diklasifikasikan berdasarkan horizon waktu masa depan yang dicakupnya, dan waktu terbagi atas 3 kategori, antara lain [4]:

1. Peramalan jangka pendek di mana peramalan ini mencakup jangka waktu hingga 1 tahun tetapi umumnya kurang dari 3 bulan. Peramalan jangka pendek ini digunakan antara lain: untuk merencanakan tingkat produksi, pembelian, penjadwalan kerja, dan jumlah tenaga kerja.
2. Peramalan jangka menengah yang pada umumnya mencakup hitungan bulanan hingga 3 tahun. Peramalan jangka menengah ini biasa digunakan untuk perencanaan penjualan, perencanaan dan anggaran produksi, anggaran kas, dan menganalisis bermacam-macam rencana operasi.
3. Peramalan jangka panjang yang umumnya untuk perencanaan masa 3 tahun atau lebih. Peramalan jangka panjang biasanya digunakan untuk merencanakan produk baru, pembelanjaan

modal, lokasi atau pengembangan fasilitas, serta penelitian dan pengembangan (litbang).

B. Fuzzy time series (FTS)

FTS pertama kali diperkenalkan oleh shong dan chissom pada tahun 1993 [5]. FTS didefinisikan sebagai berikut: Jika U adalah semesta pembicaraan, dimana $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$, maka suatu himpunan fuzzy A dari U dapat didefinisikan sebagai $A = fA(u_1)/u_1 + fA(u_2)/u_2 + \dots + fA(u_n)/u_n$, dengan f_A merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy A, $f_A: U \rightarrow [0,1]$. Jika u_k adalah elemen dari himpunan fuzzy f_A dan $f_A(u_k)$ adalah derajat keanggotaan dari u_k pada A, $f_A(u_k) [0,1]$ dan $1 < k < n$.

Definisi 1. $Y(t) (t = \dots, 0, 1, 2, \dots)$, adalah bagian dari R. Misalkan $Y(t)$ menjadi semesta pembicaraan didefinisikan oleh himpunan fuzzy $f_i(t)$. Jika $F(y)$ terdiri dari $f_1(t), f_2(t), \dots, F(t)$ didefinisikan sebagai deret waktu fuzzy pada $Y(u) (t = \dots, 0, 1, 2, \dots)$.

Definisi 2. Jika terdapat hubungan fuzzy $R(t - 1, t)$, sehingga $F(t) = F(t - 1) \circ R(t - 1, t)$ dengan \circ merupakan operator, maka dikatakan F(t) disebabkan oleh $F(t - 1)$. Misalkan $F(t) = A_i$ dan $F(t - 1) = A_j$, maka hubungan antara $F(t)$ dan $F(t - 1)$ disebut sebagai fuzzy logic relationship (FLR) yang dapat dinotasikan dengan $A_i \rightarrow A_j$, dimana A_i adalah sisi kiri (current state) dan A_j disebut sisi kanan (next state) dari FLR.

Definisi 3. Mengingat beberapa FLR dengan fuzzy set yang sama pada sisi kiri $A_i \rightarrow A_{j1}, A_i \rightarrow A_{j2}$. Kedua FLR tersebut dapat dikelompokkan dalam fuzzy logic relationshipgroup (FLRG) $A_i \rightarrow A_{j1}, A_{j2} [1],[6]$.

C. Penentuan interval berbasis rata-rata

Average based merupakan algoritma dalam FTS yang digunakan untuk menentukan interval fuzzy berbasis rata-rata. Penentuan interval tersebut dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut [1],[7],[8]:

TABEL I.
BASIS INTERVAL

| Jangkauan | Basis |
|-----------|-------|
| 0.1 – 1.0 | 0.1 |
| 1.1 – 10 | 1 |
| 11 – 100 | 10 |
| 101 -1000 | 100 |

1. Hitung semua nilai absolute selisih antara A_{i+1} dan $A_i (i=1 \dots, n-1)$ sehingga diperoleh rata-rata nilai absolute selisih.
2. Tentukan setengah dari rata-rata yang diperoleh dari langkah pertama sebagai panjang interval.
3. Berdasarkan panjang interval yang diperoleh dari langkah kedua, tentukan basis dari panjang interval sesuai dengan Tabel tabulasi basis interval.
4. Panjang interval kemudian dibulatkan sesuai dengan nilai basis interval sebagaimana dalam Tabel I

D. Rantai Markov (Markov chain)

Rantai Markov pertama kali dikembangkan oleh ahli

Rusia yang bernama A. A. Markov pada tahun 1906. Secara konseptual rantai Markov dapat diilustrasikan dengan menganggap $\{X_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ sebagai suatu proses stokastik berhingga atau nilai peluangnya yang dapat dihitung. Himpunan nilai peluang dari proses ini dinotasikan dengan himpunan integer positif $\{0, 1, 2, \dots\}$.

Jika $X_n = i$, maka proses ini terjadi di i pada saat n . Dengan menganggap bahwa kapanpun proses ini terjadi di *state* i , terdapat sebuah titik peluang P_{ij} yang akan berpindah ke *state* j . Dengan demikian bisa dituliskan: $P\{X_{n+1} = j \mid X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0\} = P_{ij}$ untuk semua *state* $i_0, i_1, \dots, i_{n-1}, i, j, n \geq 0$. Proses yang seperti itu disebut rantai Markov.

Persamaan tersebut diinterpretasikan dalam rantai markov sebagai distribusi bersyarat dari *state* yang akan datang X_{n+1} yang diperoleh dari *state* sebelumnya X_0, X_1, \dots, X_{n-1} dan *state* yang sekarang X_n , dan tidak bergantung pada *state* sebelumnya tapi bergantung pada *state* yang sekarang.

Nilai P_{ij} mewakili peluang proses transisi dari i ke j . Karena nilai peluang selalu positif dan proses transisi berpindah, maka: $P_{ij} \geq 0, i, j \geq 0$, jumlah $P_{ij} = 1, j = 1 \dots \infty, i = 0, 1, \dots$. Misal P merupakan matrik peluang transisi P_{ij} , maka dapat dinotasikan sebagaimana dalam persamaan 1 [9],[10].

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \dots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \dots \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (1)$$

E. Pengukuran kesalahan peramalan

Kesalahan peramalan (error) merupakan ukuran seberapa baik kinerja suatu model peramalan yang digunakan dengan membandingkan nilai hasil peramalan dari model tersebut dengan data actual [11]. Dalam penelitian ini pengukuran kesalahan peramalan menggunakan dua parameter, yaitu *mean square error* (MSE) dan *mean absolute percentage error* (MAPE).

$$MSE = \frac{\sum (X_t - F_t)^2}{n} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100 \sum |(X_t - F_t) / X_t|}{n} \quad (3)$$

Ket. X_t = data aktual periode t , F_t = data peramalan periode t , n = jumlah data

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kajian model *average based FTS* yang diinduksikan dengan *Markov chain* pada *fuzzy logic relation group* (FLRG). Model kemudian diujikan pada data penggunaan *bandwidth* tahun 2012 dan 2013 yang diperoleh dari PPTI Universitas Brawijaya Malang. Hasil dari pengujian peramalan kemudian divalidasi dalam bentuk nilai MSE dan MAPE. Selanjutnya model *average based FTS Markov chain* dibandingkan dengan *metode average based FTS* untuk mengetahui kinerja dan tingkat akurasi peramalan.

Berikut ini adalah algoritma model *average based FTS Markov chain* untuk peramalan data penggunaan *bandwidth* jaringan komputer:

- Menentukan interval FTS berbasis rata-rata. Penentuan interval dilakukan dengan langkah-langkah berikut:
 - Menentukan Himpunan semesta U , dengan U adalah data history.
 - Menghitung nilai rata-rata selisih absolute antara nilai A_{i+1} dan A_i , dari himpunan U
 - Membagi setengah dari nilai rata-rata untuk mendapatkan panjang interval.
 - Menentukan panjang interval berbasis rata-rata, dengan membulatkan nilai panjang interval sesuai dengan nilai basis interval pada Tabel 1.
 - Menentukan jumlah interval efektif.

2. Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- Partisi U (*universe of discourse*) menjadi u_1, u_2, \dots un berdasarkan jumlah interval yang sudah didapatkan.
- Tentukan himpunan fuzzy (*fuzzy set*) sesuai jumlah interval dan menerapkan fungsi keanggotaan segitiga untuk mendapatkan nilai keanggotaan fuzzy.
- Tentukan data penggunaan *bandwidth* yang terfuzzyfikasi.
- Tentukan *fuzzy logic relation* (FLR).
- Tentukan *fuzzy logic relation group* (FLRG)

3. Defuzzyfikasi

Proses defuzzyfikasi dari model *average based FTS Markov chain* dilakukan berdasarkan pada aturan R.C. Tsaur [12], dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Membuat matrik probabilitas transisi *state* R sebagaimana pada persamaan 4 dengan menginduksikan informasi probabilitas antar *state* dari *fuzzy logic relation group* (FLRG) yang terbentuk.

$$R = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dari matriks probabilitas tersebut kemudian dihitung nilai peramalan dengan aturan sebagai berikut:

- Jika kelompok relasi logika *fuzzy* dari A_j kosong, maka peramalan $F(t)$ adalah m_j , titik tengah interval u_j , maka $F(t) = m_j$.
- Jika kelompok relasi logika *fuzzy* A_i adalah *satu ke satu* ($A_i \rightarrow A_k$ dengan $P_{ij} = 0$ dan $P_{ik} = 1, j \neq k$), maka peramalan $F(t)$ adalah m_k , titik tengah u_k , dengan persamaan: $F(t) = m_k P_{ik} = m_k$
- Jika kelompok relasi logika *fuzzy* A_j adalah

satu ke banyak ($A_j \rightarrow A_1, A_2, \dots, A_n, j = 1, 2, \dots, n$), jika kumpulan data $Y(t - 1)$ pada saat $t - 1$ yang berada didalam *state* A_j maka peramalan $F(t)$ sama dengan:

$$F(t) = m_1 P_{j1} + m_2 P_{j2} + \dots + m_{j-1} P_{j(j-1)} + Y(t-1) P_{jj} + m_{j+1} P_{j(j+1)} + \dots + m_n P_{jn}$$

dimana $m_1, m_2, \dots, m_{j-1}, m_{j+1}, \dots, m_n$ merupakan titik tengah dari $u_1, u_2, \dots, u_{j-1}, u_{j+1}, \dots, u_n$ dan m_j disubstitusikan ke $Y(t-1)$ agar diperoleh informasi dari *state* A_j saat $t - 1$.

b. Menyesuaikan kecenderungan nilai peramalan dengan mengikuti aturan berikut:

- Jika *state* A_i berkomunikasi dengan A_i , berawal dari A_i pada saat $t - 1$ sebagaimana $F(t - 1) = A_i$ dan terjadi perpindahan transisi ke *state* A_j pada saat t , ($i < j$), maka penyesuaian nilai D_t ditentukan dengan $D_{t1} = (L/2)$.
- Jika *state* A_i berkomunikasi dengan A_i berawal dari A_i pada saat $t - 1$ sebagaimana $F(t - 1) = A_i$ dan terjadi perpindahan transisi ke *state* A_j pada saat t , ($i > j$), maka penyesuaian nilai D_t ditentukan dengan $D_{t1} = -(L/2)$.
- Jika *state* A_i pada saat $t - 1$ dengan $F(t - 1) = A_i$ dan transisinya maju ke *state* A_i+s pada saat t , $1 \leq s \leq n-1$, maka penyesuaian nilai D_t ditentukan dengan $D_{t2} = (L/2)s$, ($1 \leq s \leq n-1$).
- Jika *state* A_i pada saat $t - 1$ dengan $F(t - 1) = A_i$ kemudian transisinya mundur ke *state* A_i-v pada saat t , $1 \leq v \leq i$, maka penyesuaian nilai D_t ditentukan dengan: $D_{t2} = -(L/2)s$, ($1 \leq s \leq i$).

c. Menentukan hasil peramalan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F'(t) = F(t) \pm D_{t1} \pm D_{t2} = F(t) \pm \frac{L}{2} \pm \frac{L}{2} v \tag{5}$$

Ket. L = rata-rata dari selisih interval-interval yang berurutan dan v = lompatan transisi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis proses model peramalan fuzzy time series Markov chain

Analisis proses peramalan menggunakan model *Average Based FTS Markov chain* dilakukan, dengan terlebih dahulu menentukan data history penggunaan *bandwidth* pada Tabel II sebagai himpunan semesta U . Kemudian definisikan U dalam (D_{min}, D_{max}) , dimana D_{min} adalah data terkecil dan D_{max} adalah data terbesar. Dari data history diperoleh $D_{min} = 21.5902$ dan $D_{max} = 28.7573$, sehingga $U = (21.5902, 28.7573)$. Selanjutnya menentukan rata-rata selisih *absolute* dari data history.

Dari ke-30 data aktual pada Tabel II, diperoleh hasil rata-rata selisih *absolute*-nya adalah = 1.805417. Hasil tersebut kemudian dibagi 2 sehingga menjadi 1.805417 / 2 = 0.902709. Selanjutnya hasil pembagian dirujuk

pada Tabel I, sehingga diperoleh panjang interval = 0.9. Dari nilai tersebut, kemudian ditentukan jumlah interval efektif yang dapat digunakan, yaitu 7 interval. Selanjutnya himpunan semesta U yang sudah ditentukan sebelumnya, dibagi ke dalam 7 interval yang sama untuk menentukan nilai lingusitik dan data yang terfuzzyfikasi.

TABEL II
DATA PENGGUNAAN BANWIDTH APRIL 2012

| No | Tgl/bln/th | Data aktual | No | Tgl/bln/th | Data aktual |
|----|------------|-------------|----|------------|-------------|
| 1 | 4/1/2012 | 23.6274 | 16 | 4/16/2012 | 26.1088 |
| 2 | 4/2/2012 | 23.2701 | 17 | 4/17/2012 | 28.1909 |
| 3 | 4/3/2012 | 25.2107 | 18 | 4/18/2012 | 26.4115 |
| 4 | 4/4/2012 | 28.7573 | 19 | 4/19/2012 | 25.4449 |
| 5 | 4/5/2012 | 25.1801 | 20 | 4/20/2012 | 24.2937 |
| 6 | 4/6/2012 | 24.675 | 21 | 4/21/2012 | 21.5902 |
| 7 | 4/7/2012 | 22.5643 | 22 | 4/22/2012 | 23.0744 |
| 8 | 4/8/2012 | 25.9104 | 23 | 4/23/2012 | 25.5209 |
| 9 | 4/9/2012 | 24.8556 | 24 | 4/24/2012 | 22.7039 |
| 10 | 4/10/2012 | 25.6552 | 25 | 4/25/2012 | 25.9815 |
| 11 | 4/11/2012 | 24.3571 | 26 | 4/26/2012 | 27.2821 |
| 12 | 4/12/2012 | 25.5311 | 27 | 4/27/2012 | 25.4329 |
| 13 | 4/13/2012 | 27.3712 | 28 | 4/28/2012 | 23.1397 |
| 14 | 4/14/2012 | 23.9129 | 29 | 4/29/2012 | 24.248 |
| 15 | 4/15/2012 | 25.667 | 30 | 4/30/2012 | 25.9469 |

TABEL III
DATA TERFUZZIFIKASI

| No | Data aktual | Data ter fuzzyfikasi | No | Data aktual | Data ter fuzzyfikasi |
|----|-------------|----------------------|----|-------------|----------------------|
| 1 | 23.6274 | A3 | 16 | 26.1088 | A5 |
| 2 | 23.2701 | A2 | 17 | 28.1909 | A7 |
| 3 | 25.2107 | A4 | 18 | 26.4115 | A5 |
| 4 | 28.7573 | A7 | 19 | 25.4449 | A4 |
| 5 | 25.1801 | A4 | 20 | 24.2937 | A3 |
| 6 | 24.675 | A4 | 21 | 21.5902 | A1 |
| 7 | 22.5643 | A2 | 22 | 23.0744 | A2 |
| 8 | 25.9104 | A5 | 23 | 25.5209 | A4 |
| 9 | 24.8556 | A4 | 24 | 22.7039 | A2 |
| 10 | 25.6552 | A4 | 25 | 25.9815 | A5 |
| 11 | 24.3571 | A3 | 26 | 27.2821 | A6 |
| 12 | 25.5311 | A4 | 27 | 25.4329 | A4 |
| 13 | 27.3712 | A6 | 28 | 23.1397 | A2 |
| 14 | 23.9129 | A3 | 29 | 24.248 | A3 |
| 15 | 25.667 | A4 | 30 | 25.9469 | A5 |

TABEL IV
FUZZY LOGIC RELATIONSHIP (FLR)

| Urutan data | | | FLR | Urutan data | | | FLR |
|-------------|---|----|---------|-------------|---|----|---------|
| 1 | → | 2 | A3 → A2 | 16 | → | 17 | A5 → A7 |
| 2 | → | 3 | A2 → A4 | 17 | → | 18 | A7 → A5 |
| 3 | → | 4 | A4 → A7 | 18 | → | 19 | A5 → A4 |
| 4 | → | 5 | A7 → A4 | 19 | → | 20 | A4 → A3 |
| 5 | → | 6 | A4 → A4 | 20 | → | 21 | A3 → A1 |
| 6 | → | 7 | A4 → A2 | 21 | → | 22 | A1 → A2 |
| 7 | → | 8 | A2 → A5 | 22 | → | 23 | A2 → A4 |
| 8 | → | 9 | A5 → A4 | 23 | → | 24 | A4 → A2 |
| 9 | → | 10 | A4 → A4 | 24 | → | 25 | A2 → A5 |
| 10 | → | 11 | A4 → A3 | 25 | → | 26 | A5 → A6 |
| 11 | → | 12 | A3 → A4 | 26 | → | 27 | A6 → A4 |
| 12 | → | 13 | A4 → A6 | 27 | → | 28 | A4 → A2 |
| 13 | → | 14 | A6 → A3 | 28 | → | 29 | A2 → A3 |
| 14 | → | 15 | A3 → A4 | 29 | → | 30 | A3 → A5 |
| 15 | → | 16 | A4 → A5 | | | | |

Adapun 7 interval yang sama dalam himpunan U adalah:

$$u_1 = (21.5902, 22.7802) \quad u_2 = (22.7802, 23.9702)$$

$$u_3 = (23.9702, 25.1602) \quad u_4 = (25.1602, 26.3502)$$

$$u_5 = (26.3502, 27.5402) \quad u_6 = (27.5402, 28.7302)$$

$$u_7 = (28.7302, 29.9202)$$

Nilai lingusitik yang diperoleh adalah:

$$A_1 = 1/u_1 + 0,5/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$

$$A_2 = 0.5/u_1 + 1/u_2 + 0,5/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$

$$A_3 = 0/u_1 + 0,5/u_2 + 1/u_3 + 0,5/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$

$$A_4 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0,5/u_3 + 1/u_4 + 0,5/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$$

$$A_5 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0,5/u_4 + 1/u_5 + 0,5/u_6 + 0/u_7$$

$$A_6 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0,5/u_5 + 1/u_6 + 0,5/u_7$$

$$A_7 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0,5/u_6 + 1/u_7$$

Kemudian untuk data yang terfuzzyfikasi tersaji dalam Tabel III.

Selanjutnya menentukan *fuzzy logic relationship* (FLR) dan *fuzzy logic relation group* (FLRG), sebagaimana dalam Tabel IV dan Tabel V.

TABEL V
FUZZY LOGIC RELATIONS GROUP (FLRG)

| Current state | Next state |
|---------------|-----------------------------------|
| A1 | → A2 |
| A2 | → A3, 2(A4), 2(A5) |
| A3 | → A1, A2, 2(A4), A5 |
| A4 | → 3(A2), 2(A3), 2(A4), A5, A6, A7 |
| A5 | → 2(A4), A6, A7 |
| A6 | → A3, A4 |
| A7 | → A4, A5 |

TABEL VI
MATRIKS PROBABILITAS PERPINDAHAN STATE A_i KE A_j

| P_{ij} | j | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0 | 0 |
| 3 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0.4 | 0.2 | 0 | 0 |
| i | 4 | 0 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.3 | 0.3 |
| 6 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 |

TABEL VII
HASIL PERHITUNGAN PERAMALAN DATA PENGGUNAAN BANDWIDTH SEBELUM PENYESUAIAN NILAI KECENDERUNGAN

| TGL/BLN 2013 | Data Aktual | Peramalan | Tgl/bln 2013 | Data Aktual | Peramalan |
|--------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|
| 1-Apr | 23.63 | - | 16-Apr | 26.11 | 25.17 |
| 2-Apr | 23.27 | 24.21 | 17-Apr | 28.19 | 26.65 |
| 3-Apr | 25.21 | 25.40 | 18-Apr | 26.41 | 25.76 |
| 4-Apr | 28.76 | 24.80 | 19-Apr | 25.45 | 26.65 |
| 5-Apr | 25.18 | 25.76 | 20-Apr | 24.29 | 24.83 |
| 6-Apr | 24.68 | 24.93 | 21-Apr | 21.59 | 24.21 |
| 7-Apr | 22.56 | 24.54 | 22-Apr | 23.07 | 22.78 |
| 8-Apr | 25.91 | 25.40 | 23-Apr | 25.52 | 25.40 |
| 9-Apr | 24.86 | 26.65 | 24-Apr | 22.70 | 24.70 |
| 10-Apr | 25.66 | 24.86 | 25-Apr | 25.98 | 25.40 |
| 11-Apr | 24.36 | 24.88 | 26-Apr | 27.28 | 26.65 |
| 12-Apr | 25.53 | 24.21 | 27-Apr | 25.43 | 24.57 |
| 13-Apr | 27.37 | 25.29 | 28-Apr | 23.14 | 24.69 |
| 14-Apr | 23.91 | 24.57 | 29-Apr | 24.25 | 25.40 |
| 15-Apr | 25.67 | 24.21 | 30-Apr | 25.95 | 24.21 |

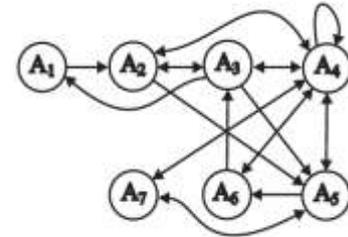
Selanjutnya menghitung nilai peramalan dengan model *average based FTS Markov chain*, dengan tahapan sebagai berikut:

- Membuat matrik probabilitas transisi state berorde 7

x 7 dengan elemennya adalah $P_{ij} = M_{ij}/M_i$, sehingga diperoleh sebagaimana dalam Tabel VI.

Selanjutnya menghitung nilai peramalan berdasarkan pada FLRG dan matriks probabilitas pada Tabel VI.

Contoh untuk menghitung nilai peramalan dengan FLRG berupa $A_2 \rightarrow A_3, A_4, A_5$, maka $F(t) = A_2 = A_3P_{23} + A_4P_{24} + A_5P_{25} = 23.970x(0.2) + 25.16016x(0.4) + 26.35016x(0.4) = 25.39815$. Dengan cara yang sama, maka secara keseluruhan diperoleh nilai peramalan adalah sebagaimana dalam Tabel VII.



Gambar 1. Proses Transisi peramalan berdasarkan FLRG

- Penyesuaian kecenderungan nilai peramalan. Penyesuaian kecenderungan nilai peramalan dilakukan pada setiap hubungan antar *state* pada FLRG. Hubungan tersebut dapat digambarkan sebagaimana dalam Gambar 1.

TABEL VIII
NILAI PENYESUAIAN KECENDERUNGAN HASIL PERAMALAN STATE A_i KE A_j

| Current State | Next State | Nilai penyesuaian | Current State | Next State | Nilai penyesuaian | | |
|---------------|------------|-------------------|---------------|------------|-------------------|----|--------|
| A1 | → | A2 | 0.595 | A4 | → | A5 | 0.595 |
| A2 | → | A3 | 0.595 | A4 | → | A6 | 1.19 |
| A2 | → | A4 | 1.785 | A4 | → | A7 | 1.785 |
| A2 | → | A5 | 1.785 | A5 | → | A4 | -1.19 |
| A3 | → | A1 | -1.19 | A5 | → | A6 | 0.595 |
| A3 | → | A2 | -0.595 | A5 | → | A7 | 1.19 |
| A3 | → | A4 | 1.19 | A6 | → | A3 | -1.785 |
| A3 | → | A5 | 1.19 | A6 | → | A4 | -1.785 |
| A4 | → | A2 | -1.19 | A7 | → | A4 | -2.38 |
| A4 | → | A3 | -0.595 | A7 | → | A5 | -1.19 |

Dari gambar 1, kemudian dihitung nilai penyesuaian dari setiap *current state* yang bertransisi ke *next state*-nya, sehingga diperoleh 20 nilai kecenderungan peramalan sebagaimana dalam Tabel VIII.

Selanjutnya menghitung hasil peramalan menggunakan persamaan 5. Contoh pada $A1 \rightarrow A2$, maka hasil peramalan $F'(t) = 22.7802 + 0.595 = 23.3752$. Dengan cara yang sama, maka keseluruhan hasil peramalan adalah sebagaimana dalam Tabel IX.

B. Pengujian dan Analisis

Dalam penelitian ini, pengujian dan analisis model peramalan *average based FTS Markov chain* dilakukan, dengan menggunakan data *training* dan data *testing*. Data *training* merupakan data *bandwidth* tahun 2012, Sedangkan data *testing* adalah data *bandwidth* tahun 2013.

Hasil dari pengujian berupa nilai MSE dan MAPE dari model *Average based FTS markov chain* dibandingkan dengan MSE dan MAPE dari metode *average based FTS*, selanjutnya dari hasil perbandingan tersebut kemudian dihitung prosentase peningkatan akurasi peramalan. Adapun data dan hasil pengujian secara keseluruhan, terdapat dalam Tabel X.

TABEL IX
HASIL PERAMALAN DATA PENGGUNAAN BANDWIDTH SETELAH
PENYESUAIAN KECENDERUNGAN NILAI PERAMALAN

| Tgl, Bln, Thn | Data fuzzy | Data Aktual | Hsl rama lan (f(t)) | Penye suaian | Hsl rama lan (F'(t)) |
|---------------|------------|-------------|---------------------|--------------|----------------------|
| 4/1/2013 | A3 | 23.6274 | - | - | - |
| 4/2/2013 | A2 | 23.2701 | 24.208 | -0.595 | 23.6132 |
| 4/3/2013 | A4 | 25.2107 | 25.398 | 1.785 | 27.1832 |
| 4/4/2013 | A7 | 28.7573 | 24.797 | 1.785 | 26.5823 |
| 4/5/2013 | A4 | 25.1801 | 25.755 | -2.38 | 23.3752 |
| 4/6/2013 | A4 | 24.675 | 24.926 | | 24.9262 |
| 4/7/2013 | A2 | 22.5643 | 24.535 | -1.19 | 23.3451 |
| 4/8/2013 | A5 | 25.9104 | 25.398 | 1.785 | 27.1832 |
| 4/9/2013 | A4 | 24.8556 | 26.648 | -1.19 | 25.4577 |
| 4/10/2013 | A4 | 25.6552 | 24.861 | | 24.8613 |
| 4/11/2013 | A3 | 24.3571 | 24.876 | -0.595 | 24.2812 |
| 4/12/2013 | A4 | 25.5311 | 24.208 | 1.19 | 25.3982 |
| 4/13/2013 | A6 | 27.3712 | 25.286 | 1.19 | 26.4764 |
| 4/14/2013 | A3 | 23.9129 | 24.565 | -1.785 | 22.7802 |
| 4/15/2013 | A4 | 25.667 | 24.208 | 1.19 | 25.3982 |
| 4/16/2013 | A5 | 26.1088 | 25.169 | 0.595 | 25.7635 |
| 4/17/2013 | A7 | 28.1909 | 26.648 | 1.19 | 27.8377 |
| 4/18/2013 | A5 | 26.4115 | 25.755 | -1.19 | 24.5652 |
| 4/19/2013 | A4 | 25.4449 | 26.648 | -1.19 | 25.4577 |
| 4/20/2013 | A3 | 24.2937 | 24.834 | -0.595 | 24.2391 |
| 4/21/2013 | A1 | 21.5902 | 24.208 | -1.19 | 23.0182 |
| 4/22/2013 | A2 | 23.0744 | 22.78 | 0.595 | 23.3752 |
| 4/23/2013 | A4 | 25.5209 | 25.398 | 1.785 | 27.1832 |
| 4/24/2013 | A2 | 22.7039 | 24.704 | -1.19 | 23.5143 |
| 4/25/2013 | A5 | 25.9815 | 25.398 | 1.785 | 27.1832 |
| 4/26/2013 | A6 | 27.2821 | 26.648 | 0.595 | 27.2427 |
| 4/27/2013 | A4 | 25.4329 | 24.565 | 1.785 | 26.3502 |
| 4/28/2013 | A2 | 23.1397 | 24.687 | -1.19 | 23.4967 |
| 4/29/2013 | A3 | 24.248 | 25.398 | 0.595 | 25.9932 |
| 4/30/2013 | A5 | 25.9469 | 24.208 | 1.19 | 25.3982 |

V. KESIMPULAN

Dari pengujian dan analisis, serta hasil yang diperoleh, maka kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peramalan data penggunaan *bandwidth* menggunakan *average based FTS Markov chain* memiliki tingkat akurasi peramalan lebih baik jika dibandingkan menggunakan *average based FTS*.
2. Tingkat akurasi peramalan dari model *average based FTS Markov chain* meningkat dari model *average based FTS*, dengan prosentasi peningkatan akurasi sebesar 41.590 %, jika tingkat akurasi dihitung menggunakan nilai rata-rata selisih MSE dan sebesar 30.348 %, jika tingkat akurasi dihitung menggunakan nilai rata-rata selisih MAPE.
3. Hasil peramalan yang lebih akurat yang diperoleh

dari model *average based fuzzy timeseries Markov chain*, disebabkan oleh adanya penerapan perhitungan probabilitas pada setiap perpindahan *current state* ke *next state*-nya pada *fuzzy logic relation group* (FLRG), serta penyesuaian kecenderungan nilai peramalan.

4. Penyesuaian kecenderungan nilai peramalan memaksa hasil peramalan untuk mendekati data aktualnya.

TABEL X
PERBANDINGAN NILAI MSE, MAPE DAN PROSENTASE
PENINGKATAN AKURASI DATA TRAINING DAN TESTING

| Bulan / 2012 | AVG Based FTS | | AVG Based FTS Markov Chain | | Peningkatan Akurasi (%) | |
|--------------|---------------|--------------|----------------------------|-------------|-------------------------|--------------|
| | MSE | MAPE (%) | MSE | MAPE (%) | MSE | MAPE |
| Jan | 10.74 | 11.73 | 7.81 | 8.03 | 27.35 | 31.57 |
| Feb | 6.38 | 6.10 | 4.16 | 4.92 | 34.78 | 19.44 |
| Mar | 5.19 | 8.81 | 4.04 | 6.62 | 22.28 | 24.84 |
| Apr | 2.41 | 5.04 | 1.06 | 3.22 | 56.19 | 36.25 |
| May | 2.23 | 6.58 | 1.35 | 5.95 | 39.50 | 9.61 |
| Jun | 0.88 | 7.19 | 0.64 | 6.27 | 26.57 | 12.78 |
| mei-juni | 7.20 | 9.06 | 5.24 | 6.36 | 27.28 | 29.85 |
| mei-juli | 9.43 | 11.91 | 7.39 | 8.87 | 21.70 | 25.56 |
| mei-agus | 25.24 | 14.26 | 10.95 | 8.73 | 56.62 | 38.79 |
| mei-Sept | 31.71 | 14.71 | 14.52 | 9.26 | 54.20 | 37.04 |
| mei-Okt | 46.84 | 17.25 | 19.97 | 10.64 | 57.37 | 38.31 |
| mei-Des | 57.88 | 18.54 | 19.02 | 8.94 | 67.14 | 51.77 |
| Thn 2013 | 43.17 | 7.12 | 21.72 | 4.36 | 49.70 | 38.71 |
| Rata-rata | 19.18 | 10.64 | 9.07 | 7.09 | 41.59 | 30.35 |

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rachmawansah, K., 2014. Average based fuzzy time series untuk peramalan kurs valuta asing, F.MIPA. Universitas Brawijaya Malang.
- [2] Langi, Yohanes, 2009. Penentuan klasifikasi state pada rantai markov. *Jurnal Ilmiah Sains*. 9 (1) : 63-67.
- [3] Subagyo, P. 1986. Forecasting konsep dan aplikasi., Edisi 2. BPFE. Yogyakarta.
- [4] Heizer, J., Render, B. 2006. *Manajemen Operasi*. edisi 7. Salemba. Jakarta
- [5] Song, Q., dan B. S. Chissom, 1993. Forecasting enrollments with FTS Part I. *Fuzzy sets and systems*.
- [6] Chen, S., 1996. Forecasting enrollments based on FTS. *Fuzzy sets and systems*.
- [7] Xihao, Sun, dan Yimin Li, 2008. Average-based FTS models for forecasting Shanghai compound index. *World journal of modelling and simulation*. 4 (2): 104-107
- [8] Haris, M.S. Edi Santoso. dan D.E.Rahmawati, 2010. Implemetasi fuzzy time series dengan interval berbasis rata-rata untuk peramalan data penjualan, F. MIPA. Universitas Brawijaya Malang.
- [9] Haryono, A. 2013. *Kajian model automatic clustering-FTS-markov chain dalam memprediksi data historis jumlah kecelakaan lalu lintas di kota Malang*, Tesis, F. MIPA. Universitas Brawijaya Malang.
- [10] Ross, S.M. 2007. Introduction to probability models. University of California Berkeley. California.
- [11] Makridakis, S.Wheelright.S.C. dan McGee. V.E. 1993. Metode dan aplikasi peramalan. edisi 2. Erlangga. Jakarta.
- [12] Tsaur, R., 2012. A FTS Markov chain model with an application to forecast the exchange rate between the Taiwan and US dollar. *International journal of innovative computing*. 8 (7b): 4931-4942.