

PERBANDINGAN METODE FUZZY TIME SERIES DAN HOLT DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING PADA PERAMALAN JUMLAH MAHASISWA BARU INSTITUT PERTANIAN BOGOR

STEVEN¹, S. NURDIATI², F. BUKHARI²

Abstrak

Peramalan merupakan kegiatan memprediksi nilai suatu variabel di masa yang akan datang. Tujuan penelitian ini adalah memprediksi jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor dengan menggunakan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt serta membandingkan kedua metode tersebut dengan cara melihat tingkat ketepatan peramalan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metode *fuzzy time series* menggunakan himpunan *fuzzy* dalam proses peramalannya sedangkan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt menggunakan pemulusan nilai dari serentetan data dengan cara mengurangnya secara eksponensial. Dalam meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor, metode *fuzzy time series* menghasilkan tingkat ketepatan peramalan yang lebih baik dengan nilai MAPE sebesar 6.41 % dibandingkan dengan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt dengan nilai MAPE sebesar 7.75 %. Setelah dilakukan studi kasus, metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt akan lebih akurat hasil peramalannya jika data yang digunakan lebih banyak.

Kata kunci : eksponensial ganda dari Holt, *fuzzy time series*, jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor, *mean absolute percentage error*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peramalan sangat berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Matematika sebagai salah satu bidang ilmu pengetahuan memiliki peran besar terkait teknik peramalan dengan tingkat akurasi tertentu. Dengan adanya suatu metode peramalan yang mempunyai tingkat keakuratan yang tinggi, seseorang diharapkan dapat lebih awal merancang tindakan yang tepat untuk mencapai hasil yang lebih efisien.

Menurut Arifonang (2009), analisis data deret waktu pada dasarnya digunakan untuk melakukan analisis data yang mempertimbangkan pengaruh waktu. Analisis data deret waktu tidak hanya bisa dilakukan untuk satu variabel (*univariate*) tetapi juga bisa untuk banyak variabel (*multivariate*). Beberapa

¹ Mahasiswa Program Sarjana, Departemen Matematika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

² Departemen Matematika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

bentuk analisis data deret waktu antara lain: metode pemulusan (*smoothing*), metode *fuzzy time series*, metode *average*, metode *moving average*, dan lain-lain.

Metode pemulusan dapat dilakukan dengan pendekatan pemulusan eksponensial (*Exponential Smoothing*). Metode pemulusan eksponensial terbagi menjadi beberapa metode yang umum dipakai, antara lain: metode pemulusan eksponensial tunggal, metode pemulusan eksponensial ganda dari Brown (satu parameter), metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt (dua parameter), dan metode pemulusan eksponensial ganda dari Winter (tiga parameter). Aritonang (2009) menyatakan bahwa pada metode pemulusan eksponensial, perevisian secara berkelanjutan dilakukan atas ramalan berdasarkan pengalaman yang lebih kini yaitu melalui pemulusan nilai dari serangkaian data yang lalu dengan cara mengurangnya secara eksponensial. Hal ini dilakukan dengan memberikan bobot tertentu pada setiap data yang dilambangkan dengan α yang bergerak antara nol sampai satu.

Menurut Song dan Chissom (1993), sistem peramalan dengan metode *fuzzy time series* menangkap pola dari data yang telah lalu kemudian digunakan untuk memproyeksikan data yang akan datang. Prosesnya juga tidak membutuhkan suatu sistem pembelajaran dari suatu sistem yang rumit seperti yang ada pada algoritma genetika dan jaringan syaraf sehingga mudah untuk dikembangkan dan tidak memerlukan adanya pola *trend* untuk melakukan proses peramalan. Dalam perhitungan peramalan menggunakan *fuzzy time series*, panjang interval telah ditentukan di awal proses perhitungan. Penentuan panjang interval sangat berpengaruh dalam pembentukan *fuzzy relationship* yang tentunya akan memberikan dampak perbedaan hasil perhitungan peramalan.

Kita sering dihadapkan pada permasalahan dalam memilih metode yang cocok untuk meramalkan data *time series* (runtut waktu) untuk periode yang akan datang. Dalam karya ilmiah ini, akan dibandingkan antara metode peramalan *fuzzy time series* dengan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt. Kedua metode peramalan ini akan dibandingkan dengan melihat galat yang dihasilkan dari setiap metode. Oleh karena itu, perbandingan kedua metode ini diharapkan dapat memperlihatkan metode yang lebih akurat dalam meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor dengan menggunakan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt serta membandingkan kedua metode tersebut dengan melihat tingkat ketepatan peramalan.

2 METODE

Penelitian ini berupa kajian teori yang disertai penerapannya, yang disusun berdasarkan rujukan pustaka dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memaparkan tentang algoritma metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan ganda dari Holt.
2. Menerapkan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan ganda dari Holt dalam meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor.
3. Menerapkan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan ganda dari Holt terhadap data yang berbeda yaitu data jumlah penduduk Indonesia.

3 PEMBAHASAN

3.1 Fuzzy Time Series

Menurut Chen *et al.* (1996), perbedaan utama antara *fuzzy time series* dan konvensional *time series* yaitu pada nilai yang digunakan dalam peramalan, yang merupakan himpunan *fuzzy* dari bilangan-bilangan real atas himpunan semesta yang ditentukan. Himpunan *fuzzy* dapat diartikan sebagai suatu kelas bilangan dengan batasan yang samar.

Jika U adalah himpunan semesta, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, maka suatu himpunan *fuzzy* A dari U didefinisikan sebagai $A = f_1(u_1)/u_1 + f_2(u_2)/u_2 + \dots + f_A(u_n)/u_n$ di mana f_A adalah fungsi keanggotaan dari A , $f_A : U \rightarrow [0,1]$.

Misalkan $X(t)$ ($t = \dots, 0, 1, 2, \dots$), adalah himpunan bagian dari R , yang menjadi himpunan semesta di mana himpunan *fuzzy* $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$) telah didefinisikan sebelumnya dan jadikan $F(t)$ menjadi kumpulan dari $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$). maka, $F(t)$ dinyatakan sebagai *fuzzy time series* terhadap $X(t)$ ($t = \dots, 1, 2, \dots$). Dari definisi ini, dapat dilihat bahwa $F(t)$ bisa dianggap sebagai variabel linguistik dan $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$) bisa dianggap sebagai kemungkinan nilai linguistik dari $F(t)$, di mana $f_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots$) direpresentasikan oleh suatu himpunan *fuzzy*. Dapat dilihat juga bahwa $F(t)$ adalah suatu fungsi waktu dari t misalnya, nilai-nilai dari $F(t)$ dapat berbeda pada waktu yang berbeda bergantung pada kenyataan bahwa himpunan semesta dapat berbeda pada waktu yang berbeda dan jika $F(t)$ hanya disebabkan oleh $F(t-1)$ maka hubungan ini digambarkan sebagai $F(t-1) \rightarrow F(t)$.

Metode *fuzzy time series* memakai *second-order fuzzy logical relationship* dalam prosesnya sehingga tidak bisa meramalkan data dua tahun pertama (Hsu *et al.* 2010). Hal ini dikarenakan proses pembuatan *second-order fuzzy logical relationship* yang nantinya akan dibentuk menjadi *forecast rules* memerlukan data aktual dari dua tahun sebelumnya untuk dijadikan suatu himpunan *fuzzy*.

Adapun langkah-langkah peramalannya sebagai berikut (Hsu *et al.* 2010):

1. Himpunan semesta

Himpunan semesta $U = [D_{min}, D_{max}]$ ditentukan sesuai data historis yang ada, dan membaginya menjadi sejumlah ganjil sub-interval dengan lebar interval yang sama besar.

2. Proses fuzzifikasi

A_1, A_2, \dots, A_k merupakan suatu himpunan-himpunan *fuzzy* yang variabel linguistiknya ditentukan sesuai dengan keadaan semesta, di mana k adalah jumlah interval yang didapatkan dari langkah pertama kemudian definisikan himpunan-himpunan *fuzzy* tersebut menurut model berikut ini (Song and Chissom):

$$A_k = \begin{cases} 1/u_1 + 0.5/u_2, & k = 1 \\ 0.5/u_{k-1} + 1/u_k + 0.5/u_{k+1}, & 2 \leq k \leq n - 1 \\ 0.5/u_{n-1} + 1/u_n, & k = n \end{cases}$$

$x/u_k = x$ merupakan derajat keanggotaan interval u_k dalam himpunan *fuzzy* A_k .

Pada $k = 1$, didapatkan himpunan *fuzzy* A_1 (himpunan *fuzzy* jumlah mahasiswa yang paling sedikit). Pada saat $k = n$, didapatkan A_n (himpunan *fuzzy* jumlah mahasiswa yang paling banyak). Semakin besar nilai k , himpunan *fuzzy* jumlah mahasiswa akan bergerak dari yang paling sedikit menjadi himpunan *fuzzy* jumlah mahasiswa yang paling banyak.

3. *Second-order fuzzy logical relationship*

$$A_i, A_j \rightarrow A_k$$

Jika hasil fuzzifikasi jumlah mahasiswa pada tahun $i-2$ adalah A_i , jumlah mahasiswa pada tahun $i-1$ adalah A_j maka jumlah mahasiswa pada tahun i adalah A_k , di mana A_i, A_j sebagai sisi kiri *relationship* disebut sebagai *current state* dan A_k sebagai sisi kanan *relationship* disebut sebagai *next state*. *Fuzzy logical relationship group* terbentuk dengan membagi *fuzzy logical relationship* yang telah diperoleh menjadi beberapa bagian berdasarkan sisi kiri dari *fuzzy logical relationship* (*current state*).

4. Proses defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi mengubah suatu besaran *fuzzy* menjadi besaran tegas. Keluaran dalam proses ini yaitu suatu nilai peramalan (*forecasting value*) yang ditentukan dengan menggunakan aturan-aturan berikut:

(1) Jika dalam *group* didapatkan tepat satu *next state*, sebagaimana *fuzzy logical relationship* berikut:

$$A_i, A_j \rightarrow A_k$$

di mana nilai maksimum derajat keanggotaan dari A_k terdapat pada interval u_k , dan *midpost* (nilai tengah) dari u_k adalah m_k , maka *forecasting value* untuk *group* yang dimaksud adalah m_k .

- (2) Jika dalam *group* didapatkan lebih dari satu *next state*, sebagaimana *fuzzy logical relationship* berikut:

$$A_i, A_j \rightarrow A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn}$$

di mana nilai maksimum derajat keanggotaan dari $A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{kn}$ terdapat pada interval $u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{kn}$, dan *midpost* (nilai tengah) dari $u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{kn}$ adalah $m_{k1}, m_{k2}, \dots, m_{kn}$, maka *forecasting value* untuk *group* tersebut adalah $(m_{k1} + m_{k2} + \dots + m_{kn})/n$.

- (3) Jika dalam *group* tidak didapatkan *next state*, sebagaimana *fuzzy logical relationship* berikut:

$$A_i, A_j \rightarrow \#$$

di mana $\#$ melambangkan *unknown value* dan nilai maksimum derajat keanggotaan dari A_i dan A_j terdapat pada interval u_i dan u_j dan *midpost* (nilai tengah) dari u_i dan u_j adalah m_i dan m_j , maka *forecasting value* untuk *group* tersebut adalah $m_j + ((m_j - m_i)/2)$.

5. Forecast rules

Tahap ini terdiri atas dua bagian, yaitu *matching part* (*current state* dari *fuzzy logical relationship group*) dan *forecasted value*. Penentuan *forecast value* ditentukan dengan mencocokkan *current state fuzzy logical relationship* tahun ke- i dengan *matching part*. Apabila *current state* dengan *rules* yang telah terbentuk *match*, maka *forecast value* tahun ke- i sama dengan *forecast value* dari *matching part* yang bersangkutan.

3.2 Pemulusan Eksponensial Ganda dari Holt

Pada metode ini revisi dilakukan berdasarkan pengalaman yang lebih kini, yaitu melalui pemulusan nilai dari serentetan data yang lalu dengan cara mengurangnya secara eksponensial. Hal itu dilakukan dengan memberikan bobot yang lebih besar pada data yang lebih kini, yaitu untuk data yang kini $\alpha(1 - \alpha)$ dan untuk data yang lebih kini $\alpha(1 - \alpha)^2$ dan seterusnya.

Ramalan dari pemulusan eksponensial ganda dari Holt didapat dengan menggunakan dua parameter pemulusan α dan γ (dengan nilai antara 0 dan 1) yang perlu dioptimalkan sehingga didapatkan kombinasi terbaik di antara dua parameter tersebut. Kombinasi terbaik di antara dua parameter diukur dengan melihat nilai *Mean Square Error* (MSE) yang dihasilkan. Semakin kecil nilai MSE yang dihasilkan semakin baik kombinasi nilai dua parameter tersebut.

Proses inisialisasi untuk pemulusan eksponensial ganda dari Holt memerlukan dua nilai taksiran, yang satu mengambil nilai pemulusan pertama untuk S_0 dan yang lain mengambil trend b_0 . Untuk syarat nilai awal S_0 dan b_0 dapat diperoleh dengan menyesuaikan sebuah model regresi linear, kemudian titik potong dan kemiringan yang didapat digunakan sebagai nilai awal pada S_0 dan b_0 (Montgomery *et al.* 2008)

Perhitungan hasil peramalan didapat dengan menggunakan tiga persamaan:

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$$

$$F_{t+m} = S_t + b_t(m)$$

Keterangan :

- S_t : nilai pemulusan pada periode ke- t
 S_{t-1} : nilai pemulusan pada periode ke- $(t-1)$
 X_t : data aktual *time series* periode ke- t
 b_t : nilai *trend* periode ke- t
 b_{t-1} : nilai *trend* periode ke- $(t-1)$
 F_{t+m} : hasil peramalan untuk m jumlah periode ke depan
 α, γ : parameter pemulusan dengan nilai antara 0 dan 1

3.3 Aplikasi pada data jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor

Penelitian ini menerapkan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt untuk meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor. Data jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor sejak tahun 1992 sampai tahun 2012 dapat dilihat pada TABEL 1.

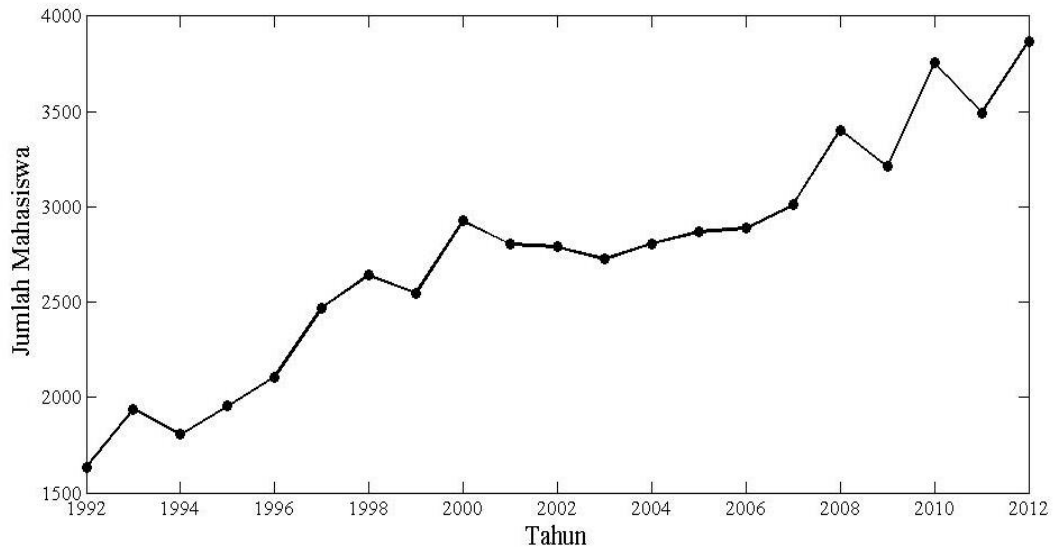
TABEL 1
Jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor
tahun 1992 sampai tahun 2012

Tahun	Jumlah Mahasiswa
1992	1631
1993	1939
1994	1807
1995	1955
1996	2107
1997	2470
1998	2642
1999	2546
2000	2925
2001	2805
2002	2789
2003	2726
2004	2805
2005	2868
2006	2887
2007	3010
2008	3404
2009	3210
2010	3754

2011	3494
2012	3868

Sumber: IPB (2012)

Gambar 1 menunjukkan *trend* data jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor tahun 1992 sampai tahun 2012.



Gambar 1 Jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor tahun 1992 sampai tahun 2012

3.4 Hasil Peramalan dengan Metode Fuzzy Time Series

Berdasarkan TABEL 1 dapat ditentukan himpunan semesta $U = [1600, 3900]$ dan membaginya menjadi 23 sub-interval dengan panjang interval yang sama besar.

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| $u_1 = [1600, 1700)$ | $u_{13} = [2800, 2900)$ |
| $u_2 = [1700, 1800)$ | $u_{14} = [2900, 3000)$ |
| $u_3 = [1800, 1900)$ | $u_{15} = [3000, 3100)$ |
| $u_4 = [1900, 2000)$ | $u_{16} = [3100, 3200)$ |
| $u_5 = [2000, 2100)$ | $u_{17} = [3200, 3300)$ |
| $u_6 = [2100, 2200)$ | $u_{18} = [3300, 3400)$ |
| $u_7 = [2200, 2300)$ | $u_{19} = [3400, 3500)$ |
| $u_8 = [2300, 2400)$ | $u_{20} = [3500, 3600)$ |
| $u_9 = [2400, 2500)$ | $u_{21} = [3600, 3700)$ |
| $u_{10} = [2500, 2600)$ | $u_{22} = [3700, 3800)$ |
| $u_{11} = [2600, 2700)$ | $u_{23} = [3800, 3900)$ |
| $u_{12} = [2700, 2800)$ | |

Himpunan *fuzzy* A_1, A_2, \dots, A_k dapat ditentukan berdasarkan sub-interval yang telah terbentuk pada langkah sebelumnya dengan menyesuaikan model dibawah ini (*Song and Chissom*) :

$$A_k = \begin{cases} 1/u_1 + 0.5/u_2, & k = 1 \\ 0.5/u_{k-1} + 1/u_k + 0.5/u_{k+1}, & 2 \leq k \leq n-1 \\ 0.5/u_{n-1} + 1/u_n, & k = n \end{cases}$$

Diperoleh:

$$\begin{aligned} A_1 &= 1/u_1 + 0.5/u_2 & A_{16} &= 0.5/u_{15} + 1/u_{16} + 0.5/u_{17} \\ A_2 &= 0.5/u_1 + 1/u_2 + 0.5/u_3 & A_{17} &= 0.5/u_{16} + 1/u_{17} + 0.5/u_{18} \\ A_3 &= 0.5/u_2 + 1/u_3 + 0.5/u_4 & A_{18} &= 0.5/u_{17} + 1/u_{18} + 0.5/u_{19} \\ A_4 &= 0.5/u_3 + 1/u_4 + 0.5/u_5 & A_{19} &= 0.5/u_{18} + 1/u_{19} + 0.5/u_{20} \\ A_5 &= 0.5/u_4 + 1/u_5 + 0.5/u_6 & A_{20} &= 0.5/u_{19} + 1/u_{20} + 0.5/u_{21} \\ A_6 &= 0.5/u_5 + 1/u_6 + 0.5/u_7 & A_{21} &= 0.5/u_{20} + 1/u_{21} + 0.5/u_{22} \\ A_7 &= 0.5/u_6 + 1/u_7 + 0.5/u_8 & A_{22} &= 0.5/u_{21} + 1/u_{22} + 0.5/u_{23} \\ A_8 &= 0.5/u_7 + 1/u_8 + 0.5/u_9 & A_{23} &= 0.5/u_{22} + 1/u_{23} \\ A_9 &= 0.5/u_8 + 1/u_9 + 0.5/u_{10} \\ A_{10} &= 0.5/u_9 + 1/u_{10} + 0.5/u_{11} \\ A_{11} &= 0.5/u_{10} + 1/u_{11} + 0.5/u_{12} \\ A_{12} &= 0.5/u_{11} + 1/u_{12} + 0.5/u_{13} \\ A_{13} &= 0.5/u_{12} + 1/u_{13} + 0.5/u_{14} \\ A_{14} &= 0.5/u_{13} + 1/u_{14} + 0.5/u_{15} \\ A_{15} &= 0.5/u_{14} + 1/u_{15} + 0.5/u_{16} \end{aligned}$$

TABEL 2
Data fuzzifikasi jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor

Tahun	Jumlah Mahasiswa	Fuzzifikasi
1992	1631	A_1
1993	1939	A_4
1994	1807	A_3
1995	1955	A_4
1996	2107	A_6
1997	2470	A_9
1998	2642	A_{11}
1999	2546	A_{10}
2000	2925	A_{14}
2001	2805	A_{13}
2002	2789	A_{12}
2003	2726	A_{12}
2004	2805	A_{13}
2005	2868	A_{13}
2006	2887	A_{13}
2007	3010	A_{15}

TABEL 3
Second-order fuzzy logical relationship

$A_1, A_4 \rightarrow A_3$	$A_4, A_3 \rightarrow A_4$	$A_3, A_4 \rightarrow A_6$	$A_4, A_6 \rightarrow A_9$
$A_6, A_9 \rightarrow A_{11}$	$A_9, A_{11} \rightarrow A_{10}$	$A_{11}, A_{10} \rightarrow A_{14}$	$A_{10}, A_{14} \rightarrow A_{13}$
$A_{14}, A_{13} \rightarrow A_{12}$	$A_{13}, A_{12} \rightarrow A_{12}$	$A_{12}, A_{12} \rightarrow A_{13}$	$A_{12}, A_{13} \rightarrow A_{13}$
$A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{13}$	$A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{15}$	$A_{13}, A_{15} \rightarrow \#$	

TABEL 4
Second-order fuzzy logical relationship group

Group label	Fuzzy Logical Relationship Group
1	$A_1, A_4 \rightarrow A_3$
2	$A_3, A_4 \rightarrow A_6$
3	$A_4, A_3 \rightarrow A_4$
4	$A_4, A_6 \rightarrow A_9$
5	$A_6, A_9 \rightarrow A_{11}$
6	$A_9, A_{11} \rightarrow A_{10}$
7	$A_{10}, A_{14} \rightarrow A_{13}$
8	$A_{11}, A_{10} \rightarrow A_{14}$
9	$A_{12}, A_{12} \rightarrow A_{12}$
10	$A_{12}, A_{13} \rightarrow A_{13}$
11	$A_{13}, A_{12} \rightarrow A_{12}$
12	$A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{13}, A_{15}$
13	$A_{14}, A_{13} \rightarrow A_{12}$
14	$A_{13}, A_{15} \rightarrow \#$

TABEL 5
Second-order fuzzy forecast rules

Rule	Matching Part	Forecasting Value
1	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_1 dan tahun $i-1$ adalah A_4	1850
2	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_3 dan tahun $i-1$ adalah A_4	2150
3	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_4 dan tahun $i-1$ adalah A_3	1950
4	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_4 dan tahun $i-1$ adalah A_6	2450
5	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_6 dan tahun $i-1$ adalah A_9	2650
6	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_9 dan tahun $i-1$ adalah A_{11}	2550
7	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{10} dan tahun $i-1$ adalah A_{14}	2850
8	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{11} dan tahun $i-1$ adalah A_{10}	2950
9	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{12} dan tahun $i-1$ adalah A_{12}	2750
10	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{12} dan tahun $i-1$ adalah A_{13}	2850
11	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{13} dan tahun $i-1$ adalah A_{12}	2750
12	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{13} dan tahun $i-1$ adalah A_{13}	2950

13	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{14} dan tahun $i-1$ adalah A_{13}	2750
14	Jika fuzzifikasi tahun $i-2$ adalah A_{13} dan tahun $i-1$ adalah A_{15}	3150

- Untuk *group* 1, dari TABEL 4 dapat dilihat bahwa terdapat *fuzzy logical relationship group* sebagai berikut :
 $A_1, A_4 \rightarrow A_3$
 di mana nilai keanggotaan maksimum untuk himpunan *fuzzy* A_3 jatuh pada interval $u_3 = [1800, 1900)$, serta nilai tengah dari interval u_3 adalah 1850 maka *forecasting value* untuk *group* 1 adalah 1850.
- Untuk *group* 12, dari TABEL 4 dapat dilihat bahwa terdapat *fuzzy logical relationship group* sebagai berikut :
 $A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{13}, A_{15}$
 di mana nilai keanggotaan maksimum untuk himpunan *fuzzy* A_{13} jatuh pada interval $u_{13} = [2800, 2900)$, dan himpunan *fuzzy* A_{15} jatuh pada interval $u_{15} = [3000, 3100)$ serta nilai tengah dari interval u_{13} adalah 2850 dan u_{15} adalah 3050 maka *forecasting value* untuk *group* 12 adalah $(2850 + 3050)/2$ yaitu 2950.
- Untuk *group* 14, dari TABEL 4 dapat dilihat bahwa terdapat *fuzzy logical relationship group* sebagai berikut :
 $A_{13}, A_{15} \rightarrow \#$
 di mana nilai maksimum derajat keanggotaan dari A_{13} dan A_{15} jatuh pada interval $u_{13} = [2800, 2900)$ dan $u_{15} = [3000, 3100)$ dan *midpost* (nilai tengah) dari u_{13} dan u_{15} adalah 2850 dan 3050, maka *forecasting value* untuk *group* yang dimaksud adalah $3050 + ((3050 - 2850)/2)$ yaitu 3150.

TABEL 6

Aplikasi metode *fuzzy time series* pada peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor tahun 1992-2007.

Tahun	Jumlah Mahasiswa	<i>Fuzzy Logical Relationship</i>	<i>Matched rule No.</i>	Peramalan
1992	1631	-	-	-
1993	1939	-	-	-
1994	1807	$A_1, A_4 \rightarrow A_3$	1	1850
1995	1955	$A_4, A_3 \rightarrow A_4$	3	1950
1996	2107	$A_3, A_4 \rightarrow A_6$	2	2150
1997	2470	$A_4, A_6 \rightarrow A_9$	4	2450
1998	2642	$A_6, A_9 \rightarrow A_{11}$	5	2650
1999	2546	$A_9, A_{11} \rightarrow A_{10}$	6	2550
2000	2925	$A_{11}, A_{10} \rightarrow A_{14}$	8	2950
2001	2805	$A_{10}, A_{14} \rightarrow A_{13}$	7	2850
2002	2789	$A_{14}, A_{13} \rightarrow A_{12}$	13	2750
2003	2726	$A_{13}, A_{12} \rightarrow A_{12}$	11	2750
2004	2805	$A_{12}, A_{12} \rightarrow A_{12}$	9	2750

2005	2868	$A_{12}, A_{13} \rightarrow A_{13}$	10	2850
2006	2887	$A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{13}$	12	2950
2007	3010	$A_{13}, A_{13} \rightarrow A_{15}$	12	2950

3.5 Hasil Peramalan dengan Metode Pemulusan Eksponensial Ganda dari Holt

Metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt dapat digunakan untuk meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor di masa mendatang. Holt memuluskan nilai *trend* secara terpisah dengan menggunakan dua parameter yaitu α dan γ (dengan nilai antara 0 dan 1) yang perlu dioptimalkan sehingga didapatkan kombinasi terbaik di antara dua parameter tersebut. Dengan cara *trial and error* dengan bantuan *software Microsoft Excel 2007*, nilai parameter α dan γ berturut-turut adalah 0.71 dan 0.01 yang menghasilkan MSE sebesar 24608.56.

Proses inialisasi untuk pemulusan eksponensial ganda dari Holt memerlukan dua nilai taksiran yaitu, mengambil nilai pemulusan pertama untuk S_0 dan mengambil *trend* b_0 . Untuk syarat nilai awal S_0 dan b_0 dapat diperoleh dengan menyesuaikan model regresi linear. Didapatkan titik potong b_1 dan kemiringan b_2 sebagai nilai awal S_0 dan b_0 berturut-turut adalah 1755.425 dan 86.95.

Tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai pemulusan dan nilai *trend* di setiap periode.

- Untuk $t = 0$,
 $S_0 = 1755.425$
 $b_0 = 86.95$
 $F_{0+1} = S_0 + b_0(1)$
 $= 1755.425 + 86.95 (1)$
 $= 1842.375$
- Untuk $t = 1$,
 $S_1 = \alpha X_1 + (1 - \alpha)(S_0 + b_0)$
 $= 0.71(1631) + 0.29(1755.425 + 86.95)$
 $= 1692.299$
 $b_1 = \gamma(S_1 - S_0) + (1 - \gamma)b_0$
 $= 0.01(1692.299 - 1755.425) + 0.99(86.95)$
 $= 85.449$
 $F_{1+1} = S_1 + b_1(1)$
 $= 1692.299 + 85.449 (1)$
 $= 1777.748$

Diperoleh model peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor untuk periode di masa yang akan datang sebagai berikut:

$$F_{17+m} = 3005.752 + 85.521(m)$$

TABEL 7
Aplikasi pemulusan eksponensial ganda dari Holt pada peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor tahun 1992-2007.

No.	Tahun	Jumlah Mahasiswa	S_t	b_t	F_{t+m}
0			1755.425	86.950	
1	1992	1631	1692.299	85.449	1842.375
2	1993	1939	1892.237	86.594	1777.748
3	1994	1807	1856.831	85.374	1978.831
4	1995	1955	1951.289	85.465	1942.205
5	1996	2107	2086.629	85.964	2036.754
6	1997	2470	2383.752	88.075	2172.593
7	1998	2642	2592.650	89.284	2471.827
8	1999	2546	2585.421	88.318	2681.933
9	2000	2925	2852.134	90.102	2673.739
10	2001	2805	2844.799	89.128	2942.237
11	2002	2789	2831.029	88.099	2933.927
12	2003	2726	2782.007	86.728	2919.128
13	2004	2805	2823.483	86.275	2868.735
14	2005	2868	2880.110	85.979	2909.758
15	2006	2887	2909.936	85.417	2966.089
16	2007	3010	3005.752	85.521	2995.353

3.6 Perbandingan Hasil Peramalan

Pada penulisan karya ilmiah ini penulis menggunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk menganalisis ketepatan metode yang digunakan. Metode peramalan yang tepat adalah metode yang menghasilkan MAPE yang minimum. Dari Tabel 10 dapat dilihat bahwa dalam peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor dengan metode *fuzzy time series* didapatkan nilai MAPE sebesar 6.412 % dan dengan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt didapatkan nilai MAPE sebesar 7.75 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa metode *fuzzy time series* memiliki nilai MAPE lebih kecil dibandingkan dengan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt. Oleh karena itu, dalam meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor lebih tepat menggunakan metode *fuzzy time series* karena nilai kesalahan peramalan yang dihasilkan lebih kecil.

TABEL 8
Perbandingan ketepatan metode peramalan.

Tahun	Jumlah Mahasiswa	<i>Fuzzy Time series</i>		Metode Holt	
		<i>Forecast</i>	<i>% Error</i>	<i>Forecast</i>	<i>% Error</i>
2008	3404	3150	7.46 %	3091.273	9.19 %
2009	3210	3200	0.31 %	3176.794	1.03 %
2010	3754	3300	12.09 %	3262.315	13.10 %
2011	3494	3400	2.69 %	3347.836	4.18 %
2012	3868	3500	9.51 %	3433.357	11.24 %
MAPE		6.412 %		7.75 %	

3.7 Analisis pada Data Jumlah Penduduk Indonesia

Data jumlah penduduk Indonesia sejak tahun 1980 sampai tahun 2011 akan digunakan untuk melihat jenis data seperti apa yang dapat menghasilkan tingkat ketepatan peramalan yang lebih baik untuk kedua metode.

TABEL 9
Perbedaan karakteristik data jumlah penduduk Indonesia dengan data jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor.

Data	Jumlah Data	<i>Trend</i>	Selisih Data Tahunan
Jumlah Mahasiswa Baru Institut Pertanian Bogor	21	Naik	Positif dan Negatif
Jumlah Penduduk Indonesia	32	Naik	Positif

TABEL 10
Hasil peramalan data jumlah penduduk Indonesia dengan menggunakan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt.

Tahun	Jumlah Penduduk	<i>Fuzzy Time series</i>		Metode Holt	
		<i>Forecast</i>	<i>% Error</i>	<i>Forecast</i>	<i>% Error</i>
2007	232461746	225000000	3.21 %	232311809	0.065 %
2008	234951154	225000000	4.24 %	234707322	0.1 %
2009	237414495	225000000	5.23 %	237102836	0.13 %
2010	239870937	225000000	6.2 %	239498349	0.16 %
2011	242325638	225000000	7.15 %	241893863	0.178 %
MAPE		5,206 %		0.127 %	

Peramalan data jumlah penduduk Indonesia dengan menggunakan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt menghasilkan nilai MAPE yang lebih kecil yaitu sebesar 0.127 %. Berdasarkan hasil peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor (TABEL 8) dan jumlah penduduk Indonesia (TABEL 10),

dan perbedaan karakteristik data jumlah penduduk Indonesia dengan data jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor (TABEL 9). Dapat disimpulkan, metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt akan lebih akurat hasil peramalannya jika data yang digunakan lebih banyak dan selisih data pertahunnya selalu positif atau selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya dengan kata lain mengalami *trend*. Metode *fuzzy time series* tidak bergantung kepada jumlah data dan pola data historis, karena metode ini dalam proses peramalannya hanya membutuhkan data dua tahun sebelumnya.

4 SIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan metode *fuzzy time series* dan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt dalam peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor, metode *fuzzy time series* meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor untuk tahun 2013 sampai tahun 2015 berturut-turut sebanyak 3600, 3700, 3800 orang dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* sebesar 6.412 %, sedangkan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor untuk tahun 2013 sampai tahun 2015 berturut-turut sebanyak 3519, 3604, 3690 orang dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* sebesar 7.75 %. sehingga dapat disimpulkan bahwa metode *fuzzy time series* lebih tepat untuk meramalkan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor tahun 2013 sampai tahun 2015, karena tingkat kesalahan (*Mean Absolute Percentage Error*) yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt.

Berdasarkan hasil studi kasus pada peramalan jumlah mahasiswa baru Institut Pertanian Bogor dan peramalan jumlah penduduk Indonesia, dapat disimpulkan bahwa metode pemulusan eksponensial ganda dari Holt akan lebih akurat hasil peramalannya jika data yang digunakan lebih banyak dan pola data historisnya mengandung *trend* sedangkan metode *fuzzy time series* tidak bergantung kepada jumlah data dan pola data historis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aritonang LR. 2009. *Peramalan Bisnis*. Ed ke-2. Bogor: Ghalia Indonesia.
- [2] Chen SM. 1996. *Forecasting enrollments based on fuzzy time series. Fuzzy Sets and Systems*. Taiwan: National Taiwan University of Science and Technology. 81:311-319.
- [3] Hsu LY, Horng SJ, Kao TW, Chen YH, Run RS, Chen RJ, Lai JL, Kuo IH. 2010. Temperature prediction and TAIEX forecasting based on fuzzy relationships and MTPSO techniques. *Expert Systems with Applications*. 37:2756-2770.
- [4] [IPB] Institut Pertanian Bogor. 2012. *TPB Dalam Angka*. Bogor: IPB.
- [5] Kuo IH, Horng SJ, Chen YH, Run RS, Kao TW, Chen RJ, Lai JL, Lin TL. 2010. Forecasting

- TAIFEX based on fuzzy time series and particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*. 37:1494-1502.
- [6] Makridakis S, Wheelwright SC, McGee VE. 1995. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. 2nd Ed. Adriyanto US dan Basith A, penerjemah. Jakarta (ID): Erlangga. Terjemahan dari: *Forecasting*.
- [7] Montgomery DC, *et al.* 2008. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- [8] Peter JB, Richard AD. 2002. *Introduction to Time Series and Forecasting*. 2nd Ed. New York: Springer. pp 323-324.
- [9] Song Q, Chissom BS. 1993. *Forecasting enrollments with fuzzy time series-Part I. Fuzzy Sets and Systems*. 54:1-9.

