

PERAMALAN PRODUKSI KARET INDONESIA MENGUNAKAN FUZZY TIME SERIES DUA FAKTOR ORDE TINGGI RELASI PANJANG BERDASARKAN RASIO INTERVAL

*(Forecasting Indonesian Rubber Production Using Fuzzy Time Series Two Factors
of High Order Long Relation Based on Intervals Ratio)*

Etna Vianita^{1*)}, Heru Tjahjana²⁾, Titi Udjiani²⁾

¹⁾Program Magister Matematika, Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Matematika,
Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedharto SH Tembalang Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

²⁾Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedharto SH Tembalang Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

e-mail: *)etnavianita21@students.undip.ac.id, redemtusherutjahjana@lecturer.undip.ac.id,
udjianititi@lecturer.undip.ac.id

*)penulis korespondensi

Abstract. The fuzzy time series method for forecasting continues to develop over time. This research discusses fuzzy time series, which considers two factors for high order using interval partitioning based on interval ratio with long relation construction for getting different accuracy in forecasting between combination method and existing method. The first step is the formation of the universe of speech. Second, divide the universe of discourse into several intervals using interval ratios. Third, fuzzification. Fourth, build fuzzy logic relations and fuzzy logic relation groups, and fifth, defuzzification. The previous methods would be compared with the fuzzy logic relation construction result. The simulation used Indonesian rubber production data for 2000-2020. The results and errors were tested using the average forecasting error rate (AFER). AFER value of the forecasting method is 1.863% obtained.

Keywords: Forecasting, fuzzy time series, long relation,

MSC2020: 62M10, 62M20, 62M86, 03E72

Received: 09-03-2022, accepted: 15-03-2022

1. Pendahuluan

Peramalan memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Metode peramalan FTS telah diimplementasikan ke dalam beberapa masalah dunia nyata contohnya peramalan pada data Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) [1–2], data curah hujan [3], penjualan es buah [4], penumpang trans Jogja [5], dan sebagainya. Tujuan dari kegiatan peramalan ini adalah untuk meningkatkan akurasi. Metode peramalan *Fuzzy Time Series* (FTS) klasik pertama kali diperkenalkan oleh Song dan Chissom yang diimplementasikan pada data pendaftaran Universitas Alabama [6–7]. Chen [8] menyederhanakan FTS dari Song dan Chissom yang semula menggunakan operator max-min disederhanakan menggunakan operasi aritmatika. Huarng [9] mengembangkan konstruksi FTS pada

langkah pembagian interval berdasarkan ratio dengan relasi biasa untuk meningkatkan akurasi peramalan. Lee [10] meningkatkan akurasi dengan menambah satu faktor menjadi dua faktor yang diimplementasikan pada data rata-rata temperatur harian dari 1 Juni 1996 sampai 30 September 1996 di Taipei, Taiwan sebagai faktor utama dan kepadatan awan harian dari 1 Juni 1996 sampai 30 September 1996 di Taipei, Taiwan sebagai faktor pendukung. Konstruksi relasi logika fuzzy mempunyai pengaruh dalam hasil peramalan. Li [11] mengembangkan konstruksi FTS pada langkah relasi logika fuzzy untuk meningkatkan akurasi peramalan menggunakan relasi panjang.

Peramalan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan sangat diperlukan pada masalah manajemen ekonomi sehingga dapat mencegah kerugian biaya produksi dan mendukung manajemen dalam pengambilan keputusan [12–13]. Salah satu sektor strategis yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional adalah sektor perkebunan dan industri, salah satunya adalah produksi karet. Indonesia merupakan negara penghasil karet terbesar ke-2 untuk komoditas karet dunia [14] sehingga Indonesia berpotensi besar untuk menjadi produsen utama dalam dekade-dekade mendatang [15]. Potensi tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik salah satunya dengan melakukan estimasi terhadap produksi karet Indonesia. Proses estimasi produksi harus didasarkan pada data produksi pada tahun-tahun sebelumnya [12].

Penelitian ini mengkombinasikan metode Huarng, Lee, dan Li untuk meningkatkan akurasi peramalan pada implementasi data produksi karet di Indonesia tahun 2000-2020.

2. Metodologi

Metode yang digunakan adalah studi literatur mengenai metode peramalan *fuzzy time series* dari metode Huarng [9], Lee [10], dan Li [11]. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui prosedur peramalan dari ketiga model. Langkah selanjutnya menggabungkan metode Huarng [9], Lee [10], dan Li [11] yang diimplementasikan pada data produksi karet Indonesia tahun 2000-2020. Penggabungan metode diuji menggunakan AFER dan dibandingkan dengan metode yang sudah ada.

Pembagian interval semesta pembicaraan pada penelitian ini menggunakan algoritma rasio interval [9] sebagai berikut:

1. Ambil perbedaan mutlak antara dua data historis berurutan $|x_t - x_{t-1}|$ untuk setiap x_t dan x_{t-1} .
2. Hitung perbedaan relatif $r_t = |x_t - x_{t-1}|/x_{t-1}$ untuk setiap t .
3. Hitung basis dengan memetakan $MIN(r_1, \dots, r_{n-1})$ ke tabel basis.
4. Plot distribusi kumulatif untuk semua r_t sesuai dengan basis yang ditentukan pada langkah (3).
5. Tentukan rasio dengan rasio sampel persentil α dengan menetapkan α sebagai persentil ke-50.

6. Hitung interval.

- (i). Potong data terkecil ke dua digit paling kiri dan nyatakan sebagai potongan(MIN(x_t), untuk setiap x_t) = $a. b \times 10^z$, dimana a dan b dapat berupa angka dari 0 hingga 9, dan dapat berupa bilangan bulat positif atau negatif atau 0.
- (ii). Kurangi b dengan 1 yakni $b' = b - 1$.
- (iii). Tetapkan nilai awal sebagai berikut:

$$\text{nilai awal} = a. b' \times 10^z$$

- (iv). Dimulai dengan nilai awal, interval meningkat dengan rasio

$$\text{batas atas}_0 = \text{nilai awal}$$

untuk $j \geq 1$

$$\text{batas bawah}_j = \text{batas atas}_{j-1}$$

$$\text{batas atas}_j = (1 + \text{ratio})^j \times \text{batas atas}_0$$

$$\text{interval}_j = [\text{batas bawah}_j, \text{atas atas}_j]$$

Penelitian ini menggunakan dua faktor orde tiga ($o=3$) relasi panjang dengan pembentukan relasi logika *fuzzy* dua faktor orde tiga: $F(t-o)$, $o=1,2,3$ adalah pengamatan pada faktor utama dan $G(t-o)$, $o=1,2,3$ adalah pengamatan pada faktor pendukung. Relasi logika *fuzzy* biasa orde 3 ($o=3$) berdasarkan model Lee [10] adalah sebagai berikut:

$$F(t-3) = A_{i_3}, G(t-3) = B_{j_3},$$

$$F(t-2) = A_{i_2}, G(t-2) = B_{j_2},$$

$$F(t-1) = A_{i_1}, G(t-1) = B_{j_1}, F(t) = A_k.$$

Maka $(F(t-3)G(t-3))(F(t-2)G(t-2))(F(t-1)G(t-1)) \rightarrow F(t)$ dengan $(F(t-3)G(t-3))(F(t-2)G(t-2))(F(t-1)G(t-1))$ adalah pengamatan yang sedang berlangsung dan $F(t)$ adalah pengamatan berikutnya. Selanjutnya model Lee ini disebut sebagai konstruksi FLR relasi pendek. Konstruksi $(F(t-p)G(t-p))(F(t-(p-1))G(t-(p-1)))(F(t-(p-2))G(t-(p-2))) \rightarrow F(t)$ dengan $p > o$ disebut sebagai konstruksi relasi panjang.

3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi yang dilakukan menggunakan data produksi karet Indonesia tahun 2000-2020. Simulasi yang dilakukan menggunakan dua faktor yakni produksi karet tahun 2000-2020 sebagai faktor utama dan luas lahan karet tahun 2000-2020 sebagai faktor pendukung.

Tabel 1. Deskripsi data produksi karet Indonesia tahun 2000-2020

Tahun	Produksi Karet (Ribuan Ton)	Luas Lahan (Ribuan Hektar)	Tahun	Produksi Karet (Ribuan Ton)	Luas Lahan (Ribuan Hektar)
2000	1125.2	3046	2011	2359.8	2931.8
2001	1723.3	2838.4	2012	2429.5	2987
2002	1226.6	2825.5	2013	2655.94	3026.02
2003	1396.2	2772.5	2014	2583.4	3067.4
2004	1662	2747.9	2015	2568.6	3075.6
2005	1838.7	2767	2016	2754.7	3092.4
2006	2082.6	2833	2017	3050.2	3103.3
2007	2176.7	2899.7	2018	3111.3	3235.8
2008	2148.7	2900.3	2019	2926.6	3269.1
2009	1918	2952.6	2020	2533.5	3305.4
2010	2193.4	2948.7			

Implementasi metode *fuzzy time series* dalam penelitian ini yakni menggabungkan metode Huarng [9], Lee [10], dan Li [11] untuk produksi karet di Indonesia tahun 2000-2020. Berdasarkan data berikut simulasi *fuzzy time series* dua faktor orde tiga relasi panjang berdasarkan rasio interval:

1. Pembentukan semesta pembicaraan

Dari data produksi karet diperoleh data minimum sebesar 1125.2 dan data maksimum sebesar 3111.3. Penentuan nilai D_1 dan D_2 menggunakan algoritma rasio interval [9] dengan rasio 0.0957 diperoleh nilai $D_1=125.2$ dan $D_2=169.589$ sehingga semesta pembicaraan untuk faktor utama yaitu $U = [1000, 3280.889]$ sementara untuk data luas lahan diperoleh data minimum sebesar 2747.9 dan data maksimum sebesar 3305.4. Penentuan nilai D_1 dan D_2 menggunakan algoritma rasio interval [9] dengan rasio 0.0957 diperoleh nilai $D_1=147.9$ dan $D_2=16.52$ sehingga semesta pembicaraan untuk faktor pendukung yaitu pada interval $V = [2600, 3321.92]$.

2. Partisi semesta pembicaraan

Berdasarkan algoritma rasio interval [9] diperoleh 13 partisi u_1, u_2, \dots, u_{13} dan 22 partisi v_1, v_2, \dots, v_{22} dengan panjang interval yang berbeda.

Tabel 2. Partisi semesta pembicaraan

Partisi U		Partisi V	
u_1	[1000,1095.7]	v_1	[2600,2629.12]
u_2	[1095.7,1200.558]	\vdots	\vdots
u_3	[1200.558,1315.452]	v_5	[2718.452,2748.898]
u_4	[1315.452,1441.341]	v_6	[2748.898,2779.686]
u_5	[1441.341,1579.277]	v_7	[2779.686,2810.818]
u_6	[1579.277,1730.414]	v_8	[2810.818,2842.299]
u_7	[1730.414,1896.014]	\vdots	\vdots
u_8	[1896.014,2077.463]	v_{15}	[3038.731,3072.764]
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
u_{13}	[2994.332,3280.889]	v_{22}	[3285.123,3321.916]

3. Fuzzifikasi

Setelah diperoleh partisi interval, langkah berikutnya yakni melakukan fuzzifikasi berdasarkan partisi interval yang telah terbentuk. Kelompokkan data yang ada sesuai dengan partisi interval.

Tabel 3. Fuzzifikasi

Tahun	Produksi Karet (Ribuan Ton)	Fuzzifikasi Produksi Karet (Ribuan Ton)	Luas Lahan (Ribuan Hektar)	Fuzzifikasi Luas Lahan (Ribuan Hektar)
2000	1125.2	A_2	3046	B_{15}
2001	1723.3	A_6	2838.4	B_8
2002	1226.6	A_3	2825.5	B_8
2003	1396.2	A_4	2772.5	B_6
2004	1662	A_6	2747.9	B_5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2020	2533.5	A_{11}	3305.4	B_{22}

4. Relasi Logika Fuzzy (FLR) Panjang

Pada tahap ini setelah fuzzifikasi terbentuk langkah berikutnya adalah pembentukan FLR dua faktor orde tiga dengan mengkonstruksi relasi pendek dan relasi panjang.

- (1) Berdasarkan $(F(t-3)G(t-3))(F(t-2)G(t-2))(F(t-1)G(t-1)) \rightarrow F(t)$ konstruksi relasi pendek, ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Relasi logika fuzzy pendek dua faktor orde tiga

Tahun	FLR pendek
2000	NA
2001	NA
2002	NA
2003	$(A_2, B_{15})(A_6, B_8)(A_3, B_8) \rightarrow A_4$
2004	$(A_6, B_8)(A_3, B_8)(A_4, B_6) \rightarrow A_6$
⋮	⋮
2020	$(A_{13}, B_{16})(A_{13}, B_{20})(A_{12}, B_{21}) \rightarrow A_{11}$

$(F(t-3)G(t-3))(F(t-2)G(t-2))(F(t-1)G(t-1)) \rightarrow F(t)$ merupakan konstruksi relasi pendek, misalnya pada tahun 2003 artinya $t = 2003$ diperoleh FLR dua faktor orde tiga yaitu

$$(F(2000)G(2000))(F(2001)G(2001))(F(2002)G(2002)) \rightarrow F(2003).$$

Sehingga berdasarkan fuzzifikasi pada Tabel 3, FLR relasi pendek adalah $(A_2, B_8)(A_7, B_5)(A_3, B_5) \rightarrow A_4$.

- (2) Berdasarkan $(F(t-4)G(t-4))(F(t-3)G(t-3))(F(t-2)G(t-2)) \rightarrow F(t)$ konstruksi relasi panjang dengan panjang = orde+1 = 3+1= 4, lihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Relasi logika fuzzy panjang dua faktor orde tiga

Tahun	FLR Panjang
2000	NA
2001	NA
2002	NA
2003	$(\#, \#)(A_2, B_8)(A_7, B_5) \rightarrow A_4$
2004	$(A_2, B_8)(A_7, B_5)(A_3, B_5) \rightarrow A_6$
⋮	⋮
2020	$(A_{12}, B_{16})(A_{13}, B_{16})(A_{13}, B_{20}) \rightarrow A_{22}$

Relasi logika fuzzy panjang dua faktor orde tiga, misalkan pada tahun 2003 artinya $t = 2003$ sehingga melihat hasil fuzzifikasi pengamatan faktor utama dan faktor pendukung yang sedang berlangsung pada tahun 1999, 2000, 2001 dan pengamatan berikutnya pada tahun 2003 diperoleh FLR relasi panjang dua faktor orde tiga yaitu $(\#, \#)(A_2, B_8)(A_7, B_5) \rightarrow A_4$.

Dilanjutkan pembentukan grup relasi logika fuzzy yaitu dengan cara mengelompokkan sisi kiri pada tabel FLR atau yang sama sehingga digabungkan dalam sebuah grup yang sesuai, lihat Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Grup relasi logika fuzzy (FLRG) pendek dua faktor orde tiga

Grup	FLRG pendek
1	$(A_2, B_{15})(A_6, B_8)(A_3, B_8) \rightarrow A_4$
2	$(A_6, B_8)(A_3, B_8)(A_4, B_6) \rightarrow A_6$
⋮	⋮
19	$(A_{13}, B_9)(A_{13}, B_{12})(A_{13}, B_{12}) \rightarrow A_{11}$

Tabel 7. Grup relasi logika fuzzy (FLRG) panjang dua faktor orde tiga

Grup	FLRG Panjang
1	$(\#, \#)(A_2, B_8)(A_7, B_5) \rightarrow A_4$
2	$(A_2, B_8)(A_7, B_5)(A_3, B_5) \rightarrow A_6$
⋮	⋮
19	$(A_{12}, B_{16})(A_{13}, B_{16})(A_{13}, B_{20}) \rightarrow A_{22}$

5. Defuzzifikasi

Setelah FLRG terbentuk maka langkah berikutnya adalah proses hasil peramalan dengan mengubah bilangan fuzzy kembali ke bilangan tegas (defuzzifikasi). Misalnya untuk tahun 2003 fuzzifikasi relasi pendek $(A_2, B_8)(A_7, B_5)(A_3, B_5) \rightarrow A_4$ dan fuzzifikasi relasi

panjang $(\#, \#)(A_2, B_8)(A_7, B_5) \rightarrow A_4$,

(1) Dari relasi pendek, hasil peramalannya yaitu

$$x_{t_1} = 0,5(x_t(3) + x_t(4)) = 1320.96.$$

(2) Dari relasi panjang, hasil peramalannya yaitu

$$x_{t_2} = x_t(4) = 1381.28.$$

(3) Hasil akhir peramalannya, pilih $\alpha = 1.2$,

$$x_t = (-0,2)x_{t_1} + (1,2)x_{t_2} = 1393.34.$$

Tabel 8. Defuzzifikasi

Tahun	Relasi Pendek	Relasi Panjang	Hasil akhir peramalan
2000	Na	Na	Na
2001	Na	Na	Na
2002	Na	Na	Na
2003	1320.96	1381.28	1393.34
2004	1519.79	1658.30	1686.00
⋮	⋮	⋮	⋮
2020	2744,24	2618.92	2593.86

6. AFER (*Average Forecast Error Rate*)

Metode AFER (*Average Forecast Error Rate*) untuk mencari besarnya kesalahan yang terjadi antara data hasil peramalan dan nilai aktual. Adapun perhitungan AFER [10] :

$$AFER = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|F_i - A_i|}{A_i}}{n} \times 100\% \quad (1)$$

dengan F_i hasil peramalan, A_i nilai aktual, dan n banyaknya data.

Tabel 9. Perhitungan AFER

Tahun	Fuzzy Produksi	Fuzzy Luas	Nilai Aktual A_i	Hasil Peramalan F_i	$ F_i - A_i $	$\frac{ F_i - A_i }{A_i}$
2000	A_2	B_{15}	1125.2	Na	Na	Na
2001	A_6	B_8	1723.3	Na	Na	Na
2002	A_3	B_8	1226.6	Na	Na	Na
2003	A_4	B_6	1396.2	1393,34	2,86	0,002
2004	A_6	B_5	1662	1686,00	24,01	0,014
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2020	A_{11}	B_{22}	2533.5	2593,86	60,36	0,024

Berdasarkan simulasi, dengan menggunakan persamaan (1), diperoleh nilai AFER sebesar 1.863%. Perbandingan nilai AFER antara kombinasi metode dan metode yang sudah ada lihat Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan metode menggunakan AFER

Huarng [9]	Lee [10]	Li [11]	Kombinasi Huarng-Lee-Li
6.156%	2.065%	1.994%	1.863%

Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat bahwa kombinasi metode Huarng-Lee-Li menghasilkan *error* terkecil yakni sebesar 1.863%. Menurut kriteria AFER [16], nilai AFER <10% menyatakan bahwa metode memiliki kriteria sangat baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh *error* metode Huarng, Lee, dan Li berturut-turut sebesar 6.156%, 2.065%, dan 1.994%. Sementara kombinasi metode Huarng-Lee-Li menghasilkan *error* terkecil yakni sebesar 1.863% dengan kriteria AFER sangat baik.

Daftar Pustaka

- [1] Hansun, S., (2013), Peramalan data IHSG menggunakan *fuzzy time series*, *IJCCS (Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.* **7(1)**, 79-88. <https://doi.org/10.22146/ijccs.2155>
- [2] Sumartini, Hayati, M.N., Wahyuningsih, S., (2017), Peramalan menggunakan metode *fuzzy time series* Cheng, *J. EKSPONENSIAL* **8**, 51-56.
- [3] Rachmawati, M. D., Anifah, L., (2019), Prediksi curah hujan menggunakan metode *average based* dan *high order fuzzy time series* di Bandar Udara Juanda, *JIEET (Journal of Information Engineering and Educational Technology)* **3**, 11-15. Available: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/jieet/article/view/4646>
- [4] Cahya, H.A., Wulanningrum, R., Pamungkas, D.P., (2020), Sistem prediksi *fuzzy time series* dan perangkian *weighted product* pada penjualan es buah, *Klik - Kumpul. J. Ilmu Komput.* **7(2)**, 103. <https://doi.org/10.20527/klik.v7i2.313>
- [5] A'yun, K., Abadi, A.M., Saptaningtyas, F.Y., (2015), Application of *weighted fuzzy time series model to forecast trans Jogja's passengers*, *Int. J. Appl. Phys. Math.* **5(2)**, 76-85. <https://doi.org/10.17706/ijapm.2015.5.2.76-85>
- [6] Qiang, S., Brad C.S., (1993), Fuzzy time series and its models, *Fuzzy Sets Syst.* **54**, 269-277.
- [7] Song, Q., Chissom, B.S., (1993), Forecasting enrollments with fuzzy time series - Part I, *Fuzzy Sets Syst.* **54(1)**, 1-9. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90355-L](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90355-L)
- [8] Chen, S.M., (1996), Forecasting enrollments based on fuzzy time series, *Fuzzy Sets Syst.* **81**, 311-319.

- [9] Huarng, K., Yu, T.H.K., (2006), Ratio-based lengths of intervals to improve fuzzy time series forecasting, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.* **36(2)**, 328-340. <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2005.857093>
- [10] Lee, L.W., Wang, L.H., Chen, S.M., Leu, Y.H. (2006), Handling forecasting problems based on two-factors high-order fuzzy time series, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* **14(3)**, 468-477. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.876367>
- [11] Li, F., Yu, F., (2018), A long-association relationship based forecasting method for time series, *ICNC-FSKD 2018 - 14th Int. Conf. Nat. Comput. Fuzzy Syst. Knowl. Discov.*, 535-541. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2018.8687145>
- [12] Mashuri, C., Suryono, S., Suseno, J.E., (2018), Prediction of safety stock using Fuzzy Time Series (FTS) and technology of Radio Frequency Identification (RFID) for Stock Control at Vendor Managed Inventory (VMI), *E3S Web Conf.* **31**, 1-5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183111005>
- [13] Suesut, T., Gulphanich, S., Nilas, P., Roengruen, P., Tirasesth, K., (2004), Demand forecasting approach inventory control for warehouse automation, *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON* **B**, 438-441. <https://doi.org/10.1109/tencon.2004.1414626>
- [14] A. News, (2021), *10 negara penghasil karet alami terbesar di dunia*, <https://theagrinenews.com/10-negara-penghasil-karet-alami-terbesar-di-dunia/>.
- [15] Suryana, A., Goenadi, D.H., Supriadi, M., Wibawa, G., Sarjono, M., Hadi, P.U., (2007), *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Karet*, Kedua: Jakarta.
- [16] Ella, A.P., Arifianto, D., (2020), Penerapan *Fuzzy Time Series* Dalam Peramalan Harga Minyak Serai Pada CV. Agam Jaya Atsiri, *Skripsi*, Jember: Universitas Muhammadiyah Jember.