Perbandingan Analisis Logika Fuzzy dan Regresi Linier Berganda dalam Menentukan Produksi Beras Nasional

Yulia Retno Sari^{1✉}, Lidya Rizki Ananda², Maha Rani³

^{1,2,3} Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Putra Indonesia YPTK Padang

yuliaretnosari2012@gmail.com

Abstract

Indonesia is an agrarian country that has been blessed with abundant wealth to prosper and fulfill the needs of its people, but the fact is that Indonesia is still not able to cultivate and maximize it. Indonesia still imports food from other countries. This research focuses on rice production in Indonesia. Analyzing the factors that affect rice production and predicting the amount of rice production with the next 2 methods will compare more accurate results by calculating the average value of the relative error of forecasting using Fuzzy Logic and Multiple Regression Analysis. The aim is to help the government identify the determining factors in maximizing rice production so that Indonesia is able to become self-sufficient. The method used in this research is Fuzzy Logic Mamdani method and Linear Regression Analysis using the Ordinary Least Square (OLS) method assisted by Matlab and Minitab software. The data used are secondary data from the Central Statistics Agency (BPS) and the Ministry of Agriculture Annual Data. From this study it was concluded that the amount of rice production using the Linear Regression Analysis Method was more accurate than the Mamdani method of Fuzzy Logic. Because the average value of the relative error for forecasting Linear Regression is 0.0078 or 0.78%, this value is smaller than the average value of the relative error forecasting with Fuzzy Logic of 0.0930 or 9.3%. The determining factors that affect rice production are land area and community consumption.

Keywords : *Fuzzy Logic, Mamdani Method, Multiple Linear Regression, Ordinary Least Square, Amount Of Rice Production.*

Abstrak

Indonesia merupakan negara agraris yang dianugrahi kekayaan melimpah untuk mensejahterakan dan memenuhi kebutuhan hidup rakyatnya tapi faktanya Indonesia masih belum mampu mengolah dan memaksimalkannya. Indonesia masih mengimpor pangan dari negara lain. Penelitian ini memfokuskan pada produksi beras di Indonesia. Menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi produksi beras dan memprediksi jumlah produksi beras tersebut dengan 2 metode selanjutnya akan membandingkan hasil yang lebih akurat dengan cara menghitung nilai rata-rata kesalahan relatif dari peramalan menggunakan Logika Fuzzy dan Analisis Regresi Berganda. Tujuannya agar membantu pemerintah mengetahui faktor-faktor penentu dalam memaksimalkan produksi beras sehingga Indonesia mampu untuk berswasembada. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Logika Fuzzy metode Mamdani dan Analisis Regresi Linier memakai metode Kuadrat Terkecil atau *Ordinary Least Square (OLS)* dibantu software Matlab dan Minitab. Data yang digunakan adalah data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Data Tahunan Kementerian Pertanian. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa Jumlah Produksi Beras menggunakan Metode Analisis Regresi Linier lebih akurat dibandingkan dengan Logika Fuzzy metode Mamdani. Karena diperoleh nilai rata-rata kesalahan relatif dengan peramalan Regresi Linier sebesar 0,0078 atau 0,78%, nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata kesalahan relatif peramalan dengan Logika Fuzzy sebesar 0,0930 atau 9,3%. Faktor penentu yang mempengaruhi produksi beras adalah luas lahan dan konsumsi masyarakat.

Kata kunci : Logika Fuzzy, Metode Mamdani, Regresi Linier Berganda, Metode Kuadrat Terkecil, Jumlah Produksi Padi

© 2021 Jurnal KomtekInfo

1. Pendahuluan

Usaha untuk memenuhi kebutuhan pangan sendiri dalam hal ini beras disebut swasembada beras [1]. Pemerintah dalam Peraturannya No.2 tahun 2015 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional tahun 2015-2019, Indonesia dikatakan kategori swasembada beras jika jumlah produksi beras Indonesia adalah 82 juta ton. Pencapaian angka produksi beras sejumlah itu realitanya belum dapat terpenuhi.

Pencapaian terbaik Indonesia dalam hal pemenuhan kebutuhan pangan bagi rakyatnya yaitu pada tahun 1984. Pada tahun tersebut Indonesia mampu berswasembada

beras. Dalam hal ini pemerintah dinilai sukses dalam mensejahterakan rakyatnya.

Dari latar belakang diatas penulis berusaha menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi produksi beras. Diantaranya adalah Curah hujan, luas panen padi, produksi padi, jumlah konsumsi beras nasional, kualitas bibit padi, kualitas pupuk dan lain-lain. Dari beberapa penelitian menyatakan memaksimalkan faktor-faktor diatas akan berakibat meningkatnya produksi beras di Indonesia [2]. Faktor-faktor yang menjadi perhatian dan mempengaruhi jumlah produksi beras di Indonesia pada penelitian ini adalah luas panen padi [3], produksi padi dan konsumsi beras nasional sebagai input dan

outputnya adalah produksi beras nasional. Begitu banyak faktor yang menyebabkan swasembada beras tidak dapat terwujud. Sebenarnya ini sangat ironi, mengingat Indonesia merupakan daerah tropis yang luas dan juga memiliki sumber daya manusia yang juga berlimpah [4]. Jumlah produksi beras adalah sesuatu yang tidak pasti, cara menghitung ketidakpastian salah satunya dengan menggunakan Logika Fuzzy metode Mamdani [5]. Pada ilmu statistika untuk memprediksi atau meramalkan biasanya yang sering digunakan adalah Regresi linier berganda metode Kuadrat Terkecil atau *Ordinary Least Square (OLS)*. Regresi linier berganda menghasilkan suatu persamaan dari beberapa variabel bebas (variabel input) yang memiliki hubungan dengan variabel terikat (variabel output).

Berdasarkan analisis dan pengamatan yang dilakukan, terdapat masalah yang penulis rumuskan adalah bagaimana hasil perbandingan antara Logika Fuzzy metode Mamdani dengan Regresi linier berganda metode kuadrat terkecil, metode mana yang terbaik untuk memprediksi produksi beras di Indonesia sehingga pemerintah dapat mengambil kebijakan dalam mewujudkan swasembada beras. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil dari perbandingan antara Logika Fuzzy metode Mamdani dengan Regresi linier berganda metode Kuadrat terkecil, metode yang terbaik dalam meramalkan jumlah produksi beras nasional dan memberikan informasi kepada pemerintah atau pihak yang terkait dalam menentukan kebijakan dalam mewujudkan swasembada beras dilihat dari faktor-faktor pendukung tersebut [2].

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam menyelesaikan proses perbandingan analisis Logika Fuzzy metode Mamdani dan Analisis Regresi metode Kuadrat Terkecil dapat digambarkan pada gambar 1.

Gambar. 1. Tahapan Penelitian

2.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy

Suatu istilah dikatakan *fuzzy* (kabur) apabila istilah tersebut tidak dapat didefinisikan secara tegas atau pasti sehingga membutuhkan adanya penegasan. Logika *fuzzy*

adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan ruang input ke dalam suatu ruang output. Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. L.A. Zadeh (1965). Pada prinsipnya himpunan *fuzzy* adalah perluasan himpunan *crisp* (tegas), yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu ke dalam dua kategori, yaitu anggota dan bukan anggota[6].

Kalau pada himpunan *crisp* (tegas), nilai keanggotaan hanya ada dua kemungkinan, yaitu 0 atau 1, pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A[x] = 0$ berarti x tidak menjadi himpunan A, demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A[x] = 1$ berarti x menjadi anggota penuh himpunan A. Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut [7], yaitu:

- Linguistik, yaitu penamaan suatu group yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti : muda, parobaya, tuapai
- Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti : 40, 25, 50, dan sebagainya

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan ; Representasi Linier, Representasi Kurva Segitiga, Representasi Kurva Trapesium, Representasi Kurva Bentuk Bahu, Representasi Kurva-S dan Representasi Kurva Bentuk Lonceng (*Bell Curve*) [8].

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan sering dikenal dengan nama *fire strength* atau α – predikat. Ada tiga operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu : operator *and*, operator *or* dan operator *not* [9], [10] .

2.2 Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi terdapat pada Persamaan. 1.

$$IF \ x \text{ is } A \ THEN \ y \text{ is } B \ ... \quad (1)$$

dengan x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan *fuzzy*. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen.

Secara umum, ada 2 fungsi implikasi yang dapat digunakan [11], yaitu :

- Min (minimum), fungsi ini akan memotong output himpunan *fuzzy*.
- Dot (product), fungsi ini akan menskala output himpunan *fuzzy*.

2.3 Metode Mamdani

Metode Mamdani sering dikenal sebagai Metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan [12]: Pertama, pembentukan himpunan *fuzzy* pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*. Kedua, aplikasi fungsi implikasi pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. Ketiga, Komposisi Aturan tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Inferensi adalah proses penggabungan banyak aturan berdasarkan data yang tersedia. Terakhir, Penegasan (*defuzzy*) input dari proses *defuzzifikasi* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output [13], [14].

Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu max, additive dan probabilistic or (probor) [15]. Pertama, metode Max (Maximum), pada metode ini solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator or (union). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum terdapat pada Persamaan. 2.

$$\mu_{sf}(x_i) = \max (\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (2)$$

dengan $\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke - i dan $\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-i

Untuk metode yang kedua adalah Metode Additive (Sum). Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua

output daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan dapat pada Persamaan. 3.

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \quad (3)$$

dengan : $\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke - i dan $\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-i

Metode yang ketiga adalah Metode Probabilistik Or (probor). Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua output daerah *fuzzy* terdapat pada Persamaan. 4.

$$\mu_{sf}(x_i) = (\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) + (\mu_{sf}(x_i) * \mu_{kf}(x_i)) \quad (4)$$

dengan : $\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke - i dan $\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-i

Salah satu metode dari *defuzzifikasi* adalah metode *centroid*. Metode *centroid* dapat disebut *Center of Area* (*Center of Gravity*) adalah metode yang paling lazim dan paling banyak diusulkan oleh banyak peneliti untuk digunakan. Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy* terdapat pada Persamaan. 5 & 6.

$$z^* = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z) dz}, \text{ untuk variabel kontiniu} \quad (5)$$

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)}, \text{ untuk variabel diskrit} \quad (6)$$

2.4 Regresi Linier Berganda

Dalam regresi linier berganda, peramalan nilai variabel tak bebas (Y) diperoleh dengan membentuk persamaan yang menghubungkan lebih dari satu variabel yaitu $x_1, x_2, \dots, x_n$. Secara umum persamaan regresi berganda terdapat pada Persamaan. 7.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_nx_{ni} + \varepsilon \quad (7)$$

Penelitian ini terdiri atas satu variabel bebas Y dan tiga variabel X yaitu x_1, x_2, x_3 . Maka persamaan regresi bergandanya terdapat pada Persamaan. 8.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + b_3x_{3i} + \varepsilon \quad (8)$$

Nilai koefisien b_0, b_1, b_2 dan b_3 dapat diperoleh dengan metode kuadrat terkecil (*least squares method*), dengan cara terlebih dahulu meminimumkan jumlah kuadrat sisa terdapat pada Persamaan. 9[9].

$$\begin{aligned}
 S &= \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - b_3 x_{3i})^2 = 0
 \end{aligned} \quad (9)$$

Kemudian persamaan (9) dideferensialkan terhadap masing-masing koefisien b_0 , b_1 , b_2 dan b_3 terdapat pada Persamaan. 10.

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n Y_i &= nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} \\
 \sum_{i=1}^n x_{1i} Y_i &= b_0 \sum_{i=1}^n x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{3i} \\
 \sum_{i=1}^n x_{2i} Y_i &= b_0 \sum_{i=1}^n x_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n x_1 x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 + b_3 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{3i} \\
 \sum_{i=1}^n x_{3i} Y_i &= b_0 \sum_{i=1}^n x_{3i} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{3i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{3i} + b_3 \sum_{i=1}^n x_{3i}^2
 \end{aligned} \quad (10)$$

2.5 Kesalahan Relatif

Kesalahan relatif (*relative error*) adalah ukuran kesalahan dalam kaitannya dengan pengukuran. Kesalahan relatif didefinisikan dengan Persamaan. 11[9].

$$e_r = \frac{|X_s - X_a|}{X_s} \quad (11)$$

Dijelaskan bahwa e_r = kesalahan relatif, X_s = nilai sebenarnya dan X_a = nilai perhitungan.

Untuk melihat rata-rata kesalahan relatif yang terjadi pada suatu data dinyatakan pada Persamaan. 12.

$$= \frac{\text{rata-rata kesalahan relatif}}{\text{jumlah kesalahan relatif}} \quad (12)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam memprediksi produksi padi di Indonesia peneliti menggunakan dua perhitungan yaitu logika *Fuzzy* metode Mamdani dan yang kedua Analisis Regresi Linier Berganda metode Kuadrat Terkecil. Pada logika *Fuzzy* metode Mamdani ada 4 tahapan yakni ; Pembentukan himpunan *Fuzzy*, Aplikasi fungsi Implikasi, Komposisi Aturan dan Defuzzifikasi. Proses analisis data juga menggunakan software Matlab dan Minitab. Data yang dipakai adalah data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Laporan Tahunan Kementerian Pertanian tahun 2006 – 2017 pada Tabel.1[11].

Tabel. 1. Data Produksi Padi

Tahun	Luas Panen (Ha)	Jumlah Penduduk (ribujiwa)	Konsumsi (ton)	Produksi Padi (ton)
2006	11.786.430	224.179	21.496.757	54.454.937
2007	12.147.637	227.521	20.583.388	57.157.435
2008	12.327.425	230.913	21.576.527	60.325.925
2009	12.883.576	234.356	21.397.141	64.398.890
2010	13.253.450	238.519	21.503.662	66.469.394
2011	13.203.643	241.991	21.652.602	65.756.904
2012	13.445.524	245.425	21.409.667	69.056.126
2013	13.835.252	248.818	21.277.431	71.279.709
2014	13.797.307	252.165	21.340.203	70.846.465
2015	14.115.475	255.462	22.285.201	76.361.248
2016	14.449.372	258.705	22.568.131	77.049.958
2017	14.701.998	261.891	22.846.053	79.175.945

3.1 Logika Fuzzy metode Mamdani

Metode Mamdani juga dikatakan dengan metode Max-Min. Untuk mendapatkan output yang merupakan prediksi Produksi Padi di Indonesia diperlukan 4 tahapan [9],[11]:

a. Pembentukan himpunan *Fuzzy*

Ini merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam menggunakan metode Mamdani. Ada empat variabel *Fuzzy* yang akan dimodelkan yaitu Luas Panen dengan himpunan *Fuzzy* ; kecil, sedang, dan besar. Jumlah Penduduk dengan himpunan *Fuzzy* ; sedikit dan banyak. Konsumsi dengan himpunan *Fuzzy* ; berkurang dan bertambah. Dan Produksi Padi dengan sedikit, sedang dan banyak dapat dilihat pada Tabel.2.

Tabel. 2. Penentuan Variabel dan Semesta Pembicara

Fungsi	Variabel	Semesta Pembicaraan (ribuan)	Keterangan
Input	Luas Panen	11.786 – 14.701	Luas Produksi (Ha)
	Jumlah Penduduk	224.000 – 262.000	Jumlah Penduduk Nasional (Jiwa)
	Konsumsi	21.496 – 22.846	Jumlah Konsumsi (Ton)
Output	Produksi Padi	54.454 – 79.175	Jumlah Produksi Padi (Ton)

Menentukan domain Luas Panen, Jumlah Penduduk, Konsumsi dan Produksi Padi pada himpunan *Fuzzy* pada Tabel.3.

Tabel. 3. Himpunan *Fuzzy*

Fungsi	Variabel	Nama Himp. Fuzzy	Semesta Pembicara	Domain
Input	Luas Panen	kecil	11.786 – 14.701	11.786 – 13.244
		sedang		12.758 – 13.730
		banyak		13.244 – 14.701
	Jumlah Penduduk	sedikit	224.000 – 261.000	224.000 – 242.500
		banyak		242.500 – 261.000
	Konsumsi	berkurang	21.496 – 22.846	21.496 – 22.171
bertambah			22.171 – 22.846	
Output	Produksi Padi	sedikit	54.454 – 79.175	54.454 - 66.814
		sedang		62.694 – 70.934
		banyak		66.814 - 79.175

Representasi dari himpunan *Fuzzy* variabel luas panen dapat tergambar pada Gambar.2.

Gambar. 2. Kurva himpunan *Fuzzy* untuk variabel luas panen atau Representasi variabel luas panen

Fungsi keanggotaan dibawah menerangkan bentuk kurva himpunan *Fuzzy* diatas untuk variabel luas panen pada Persamaan. 13,14,15.

$$\mu_{LP \text{ Kecil}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 12.272 \\ \frac{13.244 - x}{972}, & 12.272 \leq x \leq 13.244 \\ 0, & x \geq 13.244 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{LP \text{ Sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12.758 \text{ atau } x \geq 13.730 \\ \frac{x - 12.758}{13.244 - x}, & 12.758 \leq x \leq 13.244 \\ \frac{13.730 - x}{13.244 - x}, & 13.244 \leq x \leq 13.730 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{LP \text{ Besar}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 13.244 \\ \frac{x - 13.244}{972}, & 13.244 \leq x \leq 14.216 \\ 1, & x \geq 14.316 \end{cases} \quad (15)$$

Jika luas panen sebesar 14.701.998 Ha, maka nilai keanggotaan *Fuzzy* pada tiap – tiap himpunan [9],[11] adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{LP \text{ Kecil}}[14.701.998] &= 0 \\ \mu_{LP \text{ Sedang}}[14.701.998] &= 0 \\ \mu_{LP \text{ Besar}}[14.701.998] &= 0 \end{aligned}$$

Representasi himpunan *Fuzzy* variabel jumlah penduduk digambarkan pada Gambar.3.

Gambar. 3. Kurva himpunan *Fuzzy* untuk variabel jumlah penduduk atau Representasi variabel jumlah penduduk

Fungsi keanggotaan dibawah menerangkan bentuk kurva himpunan *Fuzzy* diatas untuk variabel jumlah penduduk terdapat pada Persamaan.16&17.

$$\mu_{JP \text{ Sedikit}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 244.000 \\ \frac{261.000 - x}{37.000}, & 244.000 \leq x \leq 261.000 \\ 0, & x \geq 261.000 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{JP \text{ Banyak}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 244.000 \\ \frac{x - 244.000}{37.000}, & 244.000 \leq x \leq 261.000 \\ 1, & x \geq 261.000 \end{cases} \quad (17)$$

Jika jumlah penduduk sebesar 261.891.000 jiwa, maka nilai keanggotaan *Fuzzy* pada tiap – tiap himpunan [9],[11] adalah:

$$\begin{aligned}\mu_{JP \text{ Sedikit}}[261.891.000] &= 0 \\ \mu_{JP \text{ Banyak}}[261.891.000] &= 1\end{aligned}$$

Representasi dari himpunan *Fuzzy* variabel konsumsi disajikan pada Gambar.4.

Gambar 4. Kurva himpunan *Fuzzy* untuk variabel konsumsi atau Representasi variabel konsumsi

Fungsi keanggotaan disamping menerangkan bentuk kurva himpunan *Fuzzy* diatas untuk variabel konsumsi terdapat pada Persamaan. 18&19.

$$\begin{aligned}\mu_{K \text{ Berkurang}}(x) &= \begin{cases} 1; x \leq 21496 \\ \frac{22.846 - x}{1.350}; 21.496 \leq x \leq 22.846 \\ 0; x \geq 22.846 \end{cases} \quad (18)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{K \text{ Bertambah}}(x) &= \begin{cases} 0; x \leq 21.496 \\ \frac{x - 21.496}{1350}; 21.496 \leq x \leq 22.846 \\ 1; x \geq 22.846 \end{cases} \quad (19)\end{aligned}$$

Jika konsumsi sebesar 22.846.053 ton, maka nilai keanggotaan *Fuzzy* pada tiap – tiap himpunan [11] adalah:

$$\begin{aligned}\mu_{K \text{ Berkurang}}[22.846.053] &= 0 \\ \mu_{K \text{ Bertambah}}[22.846.053] &= 1\end{aligned}$$

Representasi dari himpunan *Fuzzy* variabel produksi padi tersaji pada Gambar.5.

Gambar 5. Kurva himpunan *Fuzzy* untuk variabel Produksi Padi atau Representasi variabel Produksi Padi

Fungsi keanggotaan dibawah menerangkan bentuk kurva himpunan *Fuzzy* diatas untuk produksi padi pada Persamaan. 20, 21, 22.

$$\begin{aligned}\mu_{PP \text{ Sedikit}}(x) &= \begin{cases} 1; x \leq 58.574 \\ \frac{66814 - x}{8.240}; 58.574 \leq x \leq 66.814 \\ 0; x \geq 66.814 \end{cases} \quad (20)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{PP \text{ Sedang}}(x) &= \begin{cases} 0; x \leq 62.694 \text{ atau } x \geq 66.814 \\ \frac{x - 62.694}{70934 - 62694}; 62.694 \leq x \leq 66.814 \\ \frac{66.814 - x}{4.120}; 66.814 \leq x \leq 70.934 \end{cases} \quad (21)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{PP \text{ Banyak}}(x) &= \begin{cases} 0; x \leq 66.814 \\ \frac{x - 66.814}{8.240}; 66.814 \leq x \leq 75.054 \\ 1; x \geq 75.054 \end{cases} \quad (22)\end{aligned}$$

Jika produksi padi sebesar 79.175.945 ton, maka nilai keanggotaan *Fuzzy* pada tiap – tiap himpunan [9],[11] adalah:

$$\begin{aligned}\mu_{PP \text{ Sedikit}}[79.175.945] &= 0 \\ \mu_{PP \text{ Sedang}}[79.175.945] &= 0 \\ \mu_{PP \text{ Banyak}}[79.175.945] &= 1\end{aligned}$$

b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Rule berupa pernyataan-pernyataan kualitatif yang ditulis dalam bentuk **IF THEN** sehingga mudah dimengerti. Dari 3 variabel dan 10 himpunan, maka didapat 36 rules, seperti yang terdapat dibawah ini :

- [1] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk sedikit **AND** konsumsi berkurang **THEN** produksi padi sedikit
- [2] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk sedikit **AND** konsumsi berkurang **THEN** produksi padi sedang
- [3] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk sedikit **AND** konsumsi berkurang **THEN** produksi padi besar
- [4] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk sedikit **AND** konsumsi bertambah **THEN** produksi padi sedikit
- [5] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk sedikit **AND** konsumsi bertambah **THEN** produksi padi sedang
- [6] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk sedikit **AND** konsumsi bertambah **THEN** produksi padi besar
- [7] **IF** luas panen Kecil **AND** jumlah penduduk banyak **AND** konsumsi berkurang **THEN** produksi padi sedikit

- [8] IF luas panen Kecil AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedang
- [9] IF luas panen Kecil AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi besar
- [10] IF luas panen Kecil AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedikit
- [11] IF luas panen Kecil AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedang
- [12] IF luas panen Kecil AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi besar
- [13] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedikit
- [14] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedang
- [15] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi berkurang THEN produksi padi besar
- [16] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedikit
- [17] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedang
- [18] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi bertambah THEN produksi padi besar
- [19] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedikit
- [20] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedang
- [21] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi besar
- [22] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedikit
- [23] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedang
- [24] IF luas panen sedang AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi besar
- [25] IF luas panen besar AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedikit
- [26] IF luas panen besar AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedang
- [27] IF luas panen besar AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi berkurang THEN produksi padi besar
- [28] IF luas panen besar AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedikit
- [29] IF luas panen besar AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedang
- [30] IF luas panen besar AND jumlah penduduk sedikit AND konsumsi bertambah THEN produksi padi besar
- [31] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedikit
- [32] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi sedang
- [33] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi berkurang THEN produksi padi besar
- [34] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedikit
- [35] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi sedang
- [36] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi besar

Dalam perhitungan secara manual dengan menggunakan data diperoleh nilai keanggotaan masing-masing variabel adalah 1 yang menandakan bahwa luas panen besar, jumlah penduduk banyak, konsumsi bertambah, dan produksi padi besar. Maka *rule* yang memenuhi ketiga syarat tersebut adalah *rule* 36 yaitu [36] IF luas panen besar AND jumlah penduduk banyak AND konsumsi bertambah THEN produksi padi besar. Nilai α -predikat min dengan menggunakan aturan diatas adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \alpha - \text{predikat} &= (\mu_{LP \text{ Besar}} \cap \mu_{JP \text{ Banyak}} \\
 &\quad \cap \mu_{K \text{ Bertambah}} \cap \mu_{PP \text{ Banyak}}) \\
 &= \min (\mu_{LP \text{ Besar}} [14.701.998] \\
 &\quad \cap \mu_{JP \text{ Banyak}} [261.891] \\
 &\quad \cap \mu_{K \text{ Bertambah}} [22.846.053] \\
 &\quad \cap \mu_{PP \text{ Banyak}} [79.175.945]) \\
 &= \min(1; 1; 1; 1) = 1
 \end{aligned}$$

Hasil persamaan tersebut dapat disajikan pada Gambar.6.

Gambar. 6. Aplikasi Fungsi Implikasi untuk Rule [36]

c. Agregasi (Komposisi Aturan)

Pembentukan komposisi aturan dilakukan dengan cara pengambilan nilai max pada α – *predikat*. Hasil dapat disajikan pada Gambar. 7 dan Persamaan.23.

$$\mu(z) = \max \{ R \ 36 \} = \max \{ 1 \} = 1$$

Gambar. 7. Daerah hasil komposisi

$$\mu(z) = \begin{cases} 0; & z \leq 66814 \\ \frac{z - 66814}{8240}; & 66814 \leq x \leq 75054 \\ 1; & z \geq 75054 \end{cases} \quad (23)$$

d. Defuzzifikasi

Metode penegasan yang digunakan adalah metode centroid. Karena itu yang pertama dihitung adalah momen untuk setiap daerah :

$$\begin{aligned} m1 &= \int_{66814}^{75054} \left(\frac{z - 66814}{8240} \right) z \, dz \\ &= \int_{66814}^{75054} \frac{z^2 - 66814z}{8240} \, dz \\ &= \int_{66814}^{75054} \frac{z^2}{8240} - \frac{66814z}{8240} \, dz \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{3} \frac{z^3}{8240} - \frac{1}{2} \frac{66814z^2}{8240} \Big|_{66814}^{75054} \\ &= \frac{z^3}{24720} - \frac{33407z^2}{8240} \Big|_{66814}^{75054} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= [17103030188,40873 - 22837993824,61310] \\ &\quad - [12065739699,07540 \\ &\quad - 18098609548,61310] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= -5734963636,2043 + 6032869849,5377 \\ &= 297906213,3333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m2 &= \int_{75054}^{79176} 1z \, dz = \frac{1}{2} z^2 \Big|_{75054}^{79176} \\ &= \frac{1}{2} [(79176^2) - (75054^2)] \\ &= \frac{1}{2} [(6268838976) \\ &\quad - (5633102916)] \\ &= \frac{1}{2} (635736060) = 317868030 \end{aligned}$$

Setelah dihitung nilai momen, kemudian hitung lagi luas tiap daerah :

$$\begin{aligned} A1 &= \frac{1}{2} (75054 - 66814) \cdot 1 \\ &= \frac{8240}{2} \cdot 1 = 4120 \end{aligned}$$

$$A2 = (79176 - 75054) \cdot 1 = 4122$$

Titik pusat dapat diperoleh dari :

$$\begin{aligned} Z &= \frac{M1 + M2}{A1 + A2} = \frac{297906213,333 + 317868,030}{4120 + 4122} \\ &= \frac{615774243,333}{8242} \\ &= 74711,74998 \\ &= 74.711.750 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka dapat disimpulkan Jumlah produksi padi di Indonesia menggunakan logika *Fuzzy* adalah 74.711.750 ton. Dengan memasukkan nilai fungsi keanggotaan setiap variabel kedalam aturan *Fuzzy* menggunakan aplikasi *Fuzzy* di matlab. Diperoleh hasil peramalan seperti Tabel 4. Hasil yang didapat antara manual dengan aplikasi terdapat perbedaan selisih yang jauh karena tidak begitu efektif dan efisien. Sehingga kami menggunakan hasil peramalan dengan aplikasi *Fuzzy* di matlab dapat dilihat pada Gambar.8.

Gambar 8. Kurva variabel Y* pada Matlab

3.2 Analisis Regresi Linier Berganda

Pada regresi linier berganda koefisien-koefisien b_0 , b_1 , b_2 dan b_3 diperoleh dengan bantuan software minitab seperti terlihat pada Gambar.9.

The regression equation is
 $Y = -56669133 + 7.83 X_1 + 0.017 X_2 + 0.729 X_3$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-56669133	10065662	-5.63	0.000
X1	7.826	1.562	5.01	0.001
X2	0.0172	0.1169	0.15	0.887
X3	0.7292	0.5063	1.44	0.188

S = 706560 R-Sq = 99.4% R-Sq(adj) = 99.2%

Gambar 9. Nilai-nilai koefisien dengan menggunakan software minitab

Sehingga persamaan yang dihasilkan dapat dilihat pada Persamaan. 24.

$$Y^{**} = -56669133 + 7,83 x_1 + 0,017x_2 + 0,729x_3 \quad (24)$$

Jika masing-masing variabel x_1 , x_2 dan x_3 disubstitusikan kepersamaan diatas maka diperoleh hasil peramalan produksi padi (Y^{**}) dengan metode regresi linear berganda sesuai dengan tabel 4. Dan untuk melihat kesalahan relatif (*relative error*) atau ukuran kesalahan dalam kaitannya dengan pengukuran menggunakan persamaan 10 dapat dilihat pada Tabel. 4.

Tabel 4. Hasil Peramalan Produksi Padi dengan Logika Fuzzy dan Regresi Berganda

Produksi Padi (Y)	Produksi Padi Fuzzy (Y*)	Produksi Padi Regresi (Y**)	Kesalahan Relatif Peramalan Fuzzy	Kesalahan Relatif Peramalan Regresi
54.454.937	66.800.000	55100792,75	0,226702365	0,011860371
57.157.435	66.800.000	57320011,56	0,16870185	0,002844364
60.325.928	66.800.000	59509413,93	0,107318233	0,013535044
64.398.890	66.800.000	63791834,87	0,037284959	0,009426484

66.469.394	66.800.000	66836373,1	0,004973808	0,005521024
65.756.904	66.800.000	66613985,55	0,015862912	0,013034092
69.056.126	66.800.000	68389192,16	0,032670903	0,009657852
71.279.709	66.800.000	71402043,36	0,062846904	0,001716258
70.846.465	66.800.000	71207593,8	0,057115976	0,005097344
75.361.248	66.800.000	74443801,78	0,11360279	0,012173979
77.049.958	66.800.000	77319602,26	0,133030027	0,003499603
79.175.945	66.800.000	79554430,98	0,156309407	0,004780315

Dari tabel diatas diperoleh hasil peramalan Produksi Padi dengan menggunakan Logika Fuzzy untuk beberapa tahun adalah 66.800.000 ton, angka yang diperoleh ini stabil untuk dua belas tahun produksi padi di Indonesia. Sedangkan untuk hasil peramalan Produksi Padi dengan menggunakan Regresi Linier Berganda angka yang dihasilkan bervariasi dan mendekati hasil data sebenarnya.

3.3 Menghitung Rata-rata Kesalahan Relatif

Untuk melihat rata-rata kesalahan relatif pada penggunaan dua metode diatas diperoleh :

$$\text{Rata - rata kesalahan relatif Fuzzy} = \frac{1,1164}{12} = 0,0930$$

$$\text{Rata - rata kesalahan relatif Regresi} = \frac{0,0931}{12} = 0,0078$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh nilai rata-rata kesalahan relatif peramalan Fuzzy adalah 0,0930 atau 9,3% dan nilai rata-rata kesalahan relatif peramalan Regresi sebesar 0,0078 atau 0,78%.

4. Kesimpulan

Dari analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa peramalan jumlah produksi beras dengan input luas panen, jumlah penduduk dan konsumsi dengan

menggunakan regresi linier berganda metode kuadrat terkecil lebih baik dibandingkan dengan logika *Fuzzy* metode mamdani. Ini dibuktikan dengan nilai rata-rata kesalahan relatif peramalan Regresi sebesar 0,0078 atau 0,78%, nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata kesalahan relatif peramalan logika *Fuzzy* sebesar 0,0930 atau 9,3%. Dari hasil perhitungan dengan minitab pada analisis Regresi Linier Berganda diketahui luas panen dan konsumsi mempengaruhi secara signifikan jumlah produksi beras di Indonesia. Jadi untuk meningkatkan produksi beras di Indonesia, pihak terkait dalam hal ini pemerintah harus berusaha melakukan pembukaan sawah baru dan mencari alternatif makanan pokok pengganti. Ini semua merupakan upaya untuk mewujudkan swasembada beras di tahun 2023.

Daftar Rujukan

- [1] W. F. Wardhiani, "Peran Politik Pertanian dalam Pembangunan Pertanian menghadapi Era Revolusi Industri 4.0 di Sektor Pertanian," *JISIPOL / J. Ilmu Sos. dan Ilmu Polit.*, vol. 3, no. 2, pp. 83–94, 2019.
- [2] S. Nuryanti, "Swasembada Beras Berkelanjutan : Dilema antar Stabilisasi Harga dan Distribusi Pendapatan," *Forum Penelit. Agro Ekon.*, vol. 35, no. 1, pp. 19–30, 2017.
- [3] Y. R. Sari, "Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani dalam Menentukan Produksi Beras tahun 2018 di Indonesia," *J. Pros. SISFOTEK 2018*, 2018.
- [4] A. R. Salasa, "Paradigma dan Dimensi Strategi Ketahanan Pangan Indonesia Paradigm and Dimensions of Indonesia ' s Food Security Strategy," vol. 13, no. 1, pp. 35–48, 2021.
- [5] V. M. Nasution and G. Prakarsa, "Optimasi Produksi Barang Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 1, p. 129, 2020, doi: 10.30865/mib.v4i1.1719.
- [6] Y. R. Sari, "Penerapan Logika Fuzzy Metode Mamdani dalam Menyelesaikan Masalah Produksi Garam Nasional," *JATISI (Jurnal Tek. Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 8, no. 1, pp. 341–356, 2021, doi: 10.35957/jatisi.v8i1.647.
- [7] M. Rani, "Logika Fuzzy untuk Menentukan Asupan Kalori pada Terapi Diet terhadap Penderita Obesitas," *J. Inov. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [8] M. Djunaedi, "Penentuan Jumlah Produksi Dengan Aplikasi Metode Fuzzy - Mamdani," *J. Ilm. Tek. Insudtri*, 2017.
- [9] Y. R. Sari, L. R. Ananda, and M. Rani, "The Analysis of Fuzzy Logic Method and Multiple Linear Regression in Determining National Rice Production to Improve Food Self-Sufficiency in Indonesia," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/846/1/012009.
- [10] E. S. Puspita and L. Yulianti, "Perancangan sistem peramalan cuaca berbasis Logika Fuzzy," *Media Infotama*, 2016.
- [11] Y. R. Sari, "Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani dalam Menentukan Produksi Beras tahun 2018 di Indonesia," *Pros. SISFOTEK*, 2018.
- [12] M. Marbun, H. T. Sihotang, and N. V. Marbun, "PERANCANGAN SISTEM PERENCANAAN JUMLAH PRODUKSI ROTI MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI," *J. Mantik Penusa*, vol. 20, no. 1, pp. 48–54, 2016, doi: 10.1016/S0022-5347(01)66859-9.
- [13] E. Sufarnap, "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Dalam Penentuan Jumlah Produksi," *Semin. Nas. Sains Teknol. Inf.*, pp. 379–382, 2019, [Online]. Available: <http://prosiding.seminar-id.com/index.php/sensasi/article/view/331/323>.
- [14] A. N. M. Yusuf, E. Widayat, and A. Hatip, "Penerapan Logika Fuzzy Dalam Memperkirakan Jumlah Produksi Telur Terhadap Permintaan Pasar," *Limits J. Math. Its Appl.*, vol. 14, no. 2, p. 81, 2017, doi: 10.12962/limits.v14i2.3082.
- [15] D. L. Rahakbauw, F. J. Rianekuay, and Y. A. Lesnussa, "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Untuk Memprediksi Jumlah Produksi Karet (Studi Kasus: Data Persediaan Dan Permintaan Produksi Karet Pada PTP NUSANTARA XIV (PERSERO) Kebun Awaya, Teluk Elaputih, Maluku-Indonesia)," *J. Ilm. Mat. dan Terap. Vol. 16, No.1*, 2019.