



# Penerapan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (Anfis) Dalam Prediksi Produksi Tembakau Di Jember

Azimatul Matsniya, Abduh Riski\*, Ahmad Kamsyakawuni

Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember, Jember  
Jl. Kalimantan No.37, Krajan Timur, Jemberlor, Kecamatan Sumbersari,  
Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121  
\*e-mail: [riski.fmipa@unej.ac.id](mailto:riski.fmipa@unej.ac.id)

## Abstrak:

Kabupaten Jember adalah penghasil tembakau kualitas dunia terbesar di Jawa Timur. Produksi tembakau di Jember mengalami fluktuasi setiap tahunnya sehingga perlu dilakukan prediksi produksi tembakau. Metode ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) adalah metode yang efektif digunakan untuk prediksi karena gabungan dari metode jaringan saraf tiruan dan *fuzzy*. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi produksi tembakau di Jember. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan, luas lahan panen tembakau, produktivitas tembakau, dan produksi tembakau di Jember dari tahun 2007 - 2020. Jaringan ANFIS yang dibuat terdiri dari tiga variabel *input* dan satu variabel *output*. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *generalized bell* dan *gaussian* dengan total fungsi keanggotaan sebesar tiga buah. Jenis *output* dibagi menjadi dua, yaitu linier dan konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik adalah menggunakan fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan dengan nilai MAPE pada proses pelatihan dan pengujian berturut-turut adalah 0,00015% dan 0,091%. Tipe konstan menghasilkan MAPE lebih akurat dibanding tipe linier. Metode ANFIS adalah metode yang akurat digunakan untuk prediksi produksi. Variabel yang paling berpengaruh dan harus diperhatikan dalam produksi tembakau untuk tahun mendatang adalah curah hujan dan produktivitas tembakau.

*This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license*



## Keywords:

ANFIS;  
Prediksi;  
Produksi Tembakau

## Riwayat Artikel :

Diserahkan Juni 13, 2022  
Direvisi September 07, 2022  
Diterima Serptember 30, 2022  
Dipublikasi 30 Arpil 2023

## DOI:

10.22441/incomtech.v13i1.15655

## 1. PENDAHULUAN

Tembakau merupakan salah satu komoditi perkebunan yang memberikan peran penting dalam perekonomian nasional. Pada tahun 2021, penerimaan cukai yang berasal dari Cukai Hasil Tembakau tercatat tumbuh 50,60 persen [1]. Daerah produksi tembakau terbesar di Jawa Timur adalah Kabupaten Jember. Jember adalah daerah penghasil utama tembakau kualitas dunia yang 90% produksinya telah diekspor ke berbagai mancanegara. Produksi tembakau di Kabupaten Jember pada tahun 2020 mencapai 199.386,7 kuintal [2]. Setiap tahun produksi tembakau yang dihasilkan di Kabupaten Jember mengalami fluktuasi [2]. Berdasarkan fakta tersebut perlu adanya prediksi sebagai langkah awal perencanaan untuk menjaga supaya peningkatan produksi tembakau tetap konsisten.

Prediksi berfungsi sebagai dasar sebuah perencanaan, dalam hal ini adalah perencanaan produksi. Liza dan Sulistijanti (2020) berhasil melakukan prediksi produksi tembakau dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN) [3]. Sarkar *et al.* (2021) membandingkan metode ANFIS dan ANN dalam pemodelan untuk prediksi perilaku penyerapan air dari polyester oleh polyurethane dan diperoleh hasil *error* MAPE yang kecil (0.76% untuk ANFIS dan 1.18% untuk ANN) [4]. Del *et al.* (2021) melakukan prediksi curah hujan di Kota Cebu menggunakan ANFIS dengan keakuratan model sebesar 87.67% dan dinilai lebih bagus dibandingkan dengan *Bayesian Network* [5]. Hal ini menunjukkan bahwa metode ANFIS adalah metode yang efektif digunakan untuk sebuah prediksi.

Metode ANFIS adalah gabungan dari metode *fuzzy* dan jaringan saraf tiruan. Jaringan adaptif ini digunakan untuk mengadaptasi sistem inferensi logika *fuzzy* agar dapat mewakili sistem inferensi *fuzzy* yang diinginkan. ANFIS termasuk jaringan saraf tiruan dengan *input* yang difuzzify pada lapisan pertama atau kedua, namun bobot-bobot pada jaringan saraf tersebut tidak difuzzifykan. ANFIS adalah arsitektur yang secara fungsional sama dengan *fuzzy rule base* model Sugeno [6]. Struktur ANFIS memiliki struktur seperti jaringan saraf tiruan. *Framework* dari metode ANFIS mempunyai lima lapisan, yaitu lapisan fuzzifikasi, lapisan *rule*, lapisan normalisasi, lapisan defuzzifikasi, dan hasil neuro tunggal [6].

Penggunaan metode ANFIS dalam prediksi diperkuat dengan beberapa penelitian terdahulu. Ruminta (2017) berhasil memperoleh prediksi curah hujan dan produksi tanaman di Jawa Barat menggunakan ANFIS dengan data *multivariate* yaitu curah hujan, lama penyinaran, luas lahan dan produktivitas tanaman [7]. Rahmat *et al.* (2018) menggunakan metode ANFIS dengan input dan output sama yakni produksi karet menunjukkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 1,182% [8]. Suparta *et al.* (2020) melakukan prediksi curah hujan di Tangerang Selatan menggunakan ANFIS dan diperoleh keakuratan model sebesar 80% [9]. Kajian mengenai metode ANFIS telah banyak dilakukan [10-12].

Faktor yang mempengaruhi produksi tembakau diantaranya adalah curah hujan [13], luas lahan panen tembakau [14-15], dan produktivitas tembakau [16]. Faktor-

faktor tersebut dapat mempengaruhi produksi tembakau yang dihasilkan. Setiap tahunnya produksi tembakau di Kabupaten Jember masih mengalami fluktuasi [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukan sebuah prediksi produksi tembakau. Penelitian ini menggunakan metode ANFIS untuk memprediksi produksi tembakau Kabupaten Jember di masa mendatang. Prediksi yang akurat mengenai produksi tembakau berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut sangat diperlukan dalam pengambilan keputusan dan menjaga produksi tembakau tetap konsisten atau meningkat di masa mendatang. Dalam penelitian ini, penulis juga menghitung dan membandingkan *output* linier dan *output* konstan yang tidak ada di penelitian sebelumnya untuk mengetahui tipe *output* terbaik.

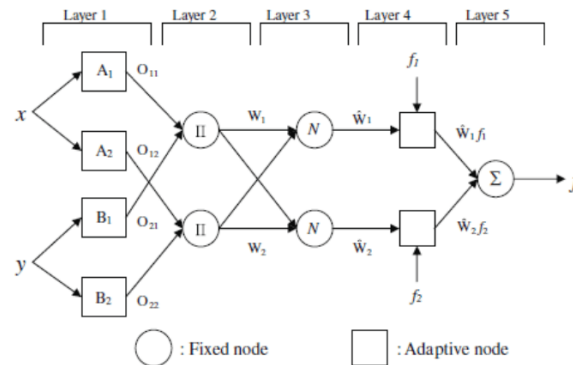
## 2. METODE

Arsitektur jaringan ANFIS sama dengan *fuzzy inference system* model sugeno [6]. Misalkan input terdiri atas  $Z_{1,t}$  dan  $Z_{2,t}$ . Aturan model sugeno orde satu dengan dua aturan *fuzzy if-then* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.

$$\begin{array}{l}
 \text{Aturan 1 : } \underbrace{\text{if } Z_{1,t} \text{ is } A_1 \text{ and } Z_{2,t} \text{ is } B_1}_{\text{Premis}} \text{ then } \underbrace{f_1 = p_1 \cdot Z_{1,t} + q_1 \cdot Z_{2,t} + r_1}_{\text{Konsekuen}} \\
 \text{Aturan 2 : } \underbrace{\text{if } Z_{1,t} \text{ is } A_2 \text{ and } Z_{2,t} \text{ is } B_2}_{\text{Premis}} \text{ then } \underbrace{f_2 = p_2 \cdot Z_{1,t} + q_2 \cdot Z_{2,t} + r_2}_{\text{Konsekuen}}
 \end{array}$$

Gambar 2.1 Aturan *fuzzy* model sugeno orde satu [6]

Pemilihan orde satu dilakukan karena dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan perhitungan. Dengan  $A_i$  dan  $B_i$  adalah nilai-nilai keanggotaan yang merupakan label *linguistic* (seperti “besar” atau “kecil”) serta  $p_i$ ,  $q_i$ , dan  $r_i$  adalah parameter konsekuen. Model *fuzzy* Struktur ANFIS memiliki struktur seperti jaringan saraf tiruan. *Framework* dari metode ANFIS mempunyai lima lapisan (*layer*) [6].



Gambar 2.2 Struktur ANFIS [6]

### Lapisan 1

Lapisan ini merupakan lapisan fuzzifikasi. *Output* dari tiap neuron adalah derajat keanggotaan. Fungsi yang biasanya digunakan adalah *Generalized Bell* dan *Gaussian*. Parameter  $b$  untuk *generalized bell* biasanya bernilai 1 untuk menentukan nilai fungsi keanggotaan tidak terbalik [17].

Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- $c$  = pusat kurva
- $a$  = lebar setengah kurva
- $b$  = bilangan bulat positif

Fungsi Keanggotaan *Gaussian*.

$$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-a}{b} \right)^2} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- $a$  = titik pusat
- $b$  = lebar setengah kurva

### Lapisan 2

Lapisan 2 berupa neuron tetap yang merupakan hasil kali dari semua masukan, sebagai berikut:

$$w_i = \mu_{A_j} \cdot \mu_{B_j} \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

Dimana  $n$  adalah banyaknya aturan dan  $m$  adalah banyaknya jumlah fungsi keanggotaan *input*. Dalam lapisan ini biasanya digunakan operator “AND”.

### Lapisan 3

Neuron tetap di lapisan ini merupakan hasil perhitungan rasio dan *firing strength* ke- $i$  ( $w_i$ ) terhadap jumlah dari keseluruhan *firing strength* pada lapisan kedua, sebagai berikut:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + \dots + w_n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

Dimana  $n$  adalah banyaknya aturan. Hasil perhitungan ini disebut *normalized firing strength*.

#### Lapisan 4

Lapisan 4 merupakan neuron yang adaptif terhadap suatu *output*, sebagai berikut:

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i Z_{1,t} + q_i Z_{2,t} + r_i), i = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

Dimana  $n$  adalah banyaknya aturan pada sistem.  $p_i$ ,  $q_i$ , dan  $r_i$  adalah parameter-parameter konsekuen pada neuron tersebut. FIS Tipe Sugeno memiliki 2 tipe *output* yakni tipe linier dan konstan. Tipe *output* linier ditunjukkan oleh persamaan  $f_i = p_i Z_{1,t} + q_i Z_{2,t} + r_i$ . Tipe *output* konstan terjadi saat  $p_i = q_i = 0$ .

#### Lapisan 5

Lapisan ini berupa neuron tunggal yang merupakan hasil penjumlahan seluruh *output* dari lapisan keempat, sebagai berikut:

$$\sum_i^n \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i^n w_i f_i}{\sum_i^n w_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

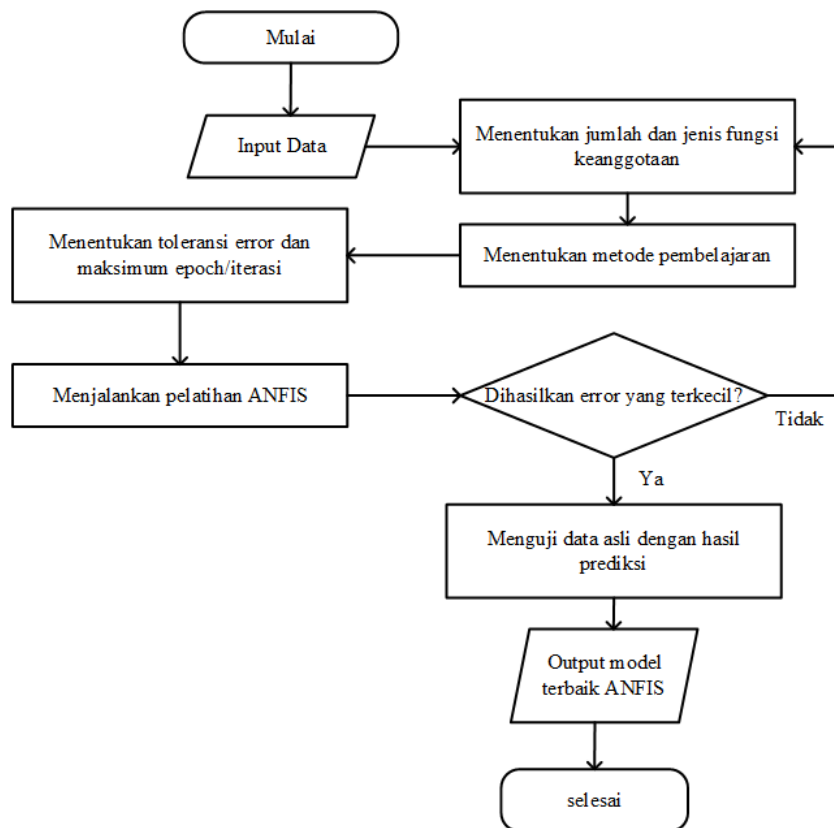
Dimana  $n$  adalah banyaknya aturan pada sistem.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan, luas lahan panen tembakau, produktivitas tembakau dan produksi tembakau di Kabupaten Jember. Data tersebut diperoleh melalui Badan Pusat Statistika Jember dari tahun 2007 - 2020.

Tabel 2.1 Jenis variabel data

Jenis Variabel Data	Makna Variabel
$X_{1,t}$	Curah hujan pada tahun $t$
$X_{2,t}$	Luas lahan panen tembakau pada tahun $t$
$X_{3,t}$	Produktivitas tembakau pada tahun $t$
$Y_t$	Produksi tembakau pada tahun $t$

Secara keseluruhan sistem prediksi menggunakan struktur jaringan ANFIS yang terbagi menjadi proses pelatihan, pengujian, dan prediksi. Metode ANFIS dapat dihitung menggunakan bantuan *software* MATLAB melalui ANFIS *Editor* yang diakses dengan cara mengetik anfisedit pada *command window*. Langkah-langkah yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram alir struktur jaringan ANFIS

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jaringan ANFIS yang dibuat menggunakan data *multivariate* dibagi menjadi variabel *input* dan variabel *output*. Variabel *input* pada tahun ke- $t$  digunakan untuk memprediksi variabel *output* pada tahun ke- $(t + 1)$ . Data yang digunakan diperoleh melalui Badan Pusat Statistika Jember. Prediksi produksi tembakau Kabupaten Jember dilakukan untuk produksi tembakau pada tahun 2021. Data Variabel *input* dan variabel *output* untuk sistem prediksi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel *input* dan *output*

$t$	$X_{1,t}$ (Tahun ke- $t$ )	$X_{2,t}$ (Tahun ke- $t$ )	$X_{3,t}$ (Tahun ke- $t$ )	$Y_{t+1}$ (Tahun ke- $(t+1)$ )
2007	143,82	9.317,22	12,68	152.666,93
2008	174,99	11.134,1	13,71	160.249,35
2009	118,30	13.879	11,55	161.200,95
2010	224,22	14.819,17	10,88	176.239,65
2011	161,24	15.209	11,59	303.364
2012	156,37	22.283,5	13,61	209.640,5
2013	197,12	15.624	13,42	243.394,8
2014	197,12	17.419,5	13,97	221.394,46
2015	128,82	15.783,05	14,03	63.639,3
2016	236,36	6.148,8	10,54	92.617,76
2017	167,33	8.788,6	10,54	183.204,6
2018	209,91	10.877,33	16,84	232.983,6
2019	170,65	14.957,55	15,32	199.386,7
2020	143,82	13.017,84	15,58	

### Proses Pelatihan (*Training*)

Proses pelatihan dilakukan menggunakan variabel *input* dari tahun 2007-2018 dan variabel *output* dari tahun 2008-2019. Berikut ini merupakan hasil dari setiap lapisan dalam proses pelatihan pada sistem prediksi produksi tembakau menggunakan ANFIS.

#### 1. Lapisan 1

Dalam penelitian ini, dipilih untuk masing-masing *input* menggunakan jumlah derajat keanggotaan sebesar tiga buah berdasarkan hasil *error* yang paling kecil dari beberapa percobaan. Dalam proses pelatihan, parameter fungsi keanggotaan *input* didapatkan dari metode *Backpropagation Error*. Perhitungan parameter tersebut diperoleh menggunakan bantuan *software* MATLAB melalui ANFIS *Editor*.

Tabel 3.2 Derajat keanggotaan pelatihan *generalized bell* konstan

$X_{1,t}$			$X_{2,t}$			$X_{3,t}$		
$A_1$	$A_2$	$A_3$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
0,671	0,358	0,006	0,742	0,358	0,0025	0,387	0,0126	0,006
0,038	1,000	0,035	0,284	0,691	0,0054	0,087	0,6955	0,022
1,000	0,043	0,002	0,055	0,999	0,0225	0,970	0,0010	0,002
0,002	0,110	0,983	0,034	0,997	0,0407	1,000	0,0004	0,001
0,135	0,937	0,014	0,028	0,985	0,0529	0,963	0,0011	0,002
0,221	0,820	0,011	0,002	0,111	1,0000	0,099	0,4969	0,019

0,008	0,853	0,218	0,023	0,959	0,0708	0,130	0,2090	0,015
0,007	0,824	0,238	0,011	0,666	0,2766	0,062	0,9877	0,032
0,994	0,097	0,003	0,022	0,945	0,0794	0,057	0,9967	0,035
0,001	0,043	1,000	1,000	0,111	0,0008	1,000	0,0002	0,001
0,075	0,992	0,021	0,865	0,291	0,0020	1,000	0,0002	0,001
0,004	0,387	0,626	0,333	0,638	0,0048	0,004	0,0010	1,000

## 2. Lapisan 2

Lapisan 2 merupakan perkalian dari derajat keanggotaan masing-masing *input*. Perkalian tersebut disesuaikan dengan *rules* dari aturan *fuzzy*. Secara matematis, perhitungan *firing strength* pada lapisan ini dapat dilihat pada Persamaan 3.1.

$$w_{i,t} = \mu_{A_j} \cdot \mu_{B_j} \cdot \mu_{C_j}, \text{ dengan } i = 1,2, \dots, 27 \text{ dan } j = 1,2,3 \quad (3.1)$$

*Rules* dalam sistem prediksi produksi tembakau dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Operasi logika *fuzzy*

<b>Logika AND</b>
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_1$ ) then ( <i>output</i> is $w_{1,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_2$ ) then ( <i>output</i> is $w_{2,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_3$ ) then ( <i>output</i> is $w_{3,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_1$ ) then ( <i>output</i> is $w_{4,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_2$ ) then ( <i>output</i> is $w_{5,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_3$ ) then ( <i>output</i> is $w_{6,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_1$ ) then ( <i>output</i> is $w_{7,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_2$ ) then ( <i>output</i> is $w_{8,t}$ )
If ( $X_{1,t}$ is $A_1$ ) and ( $X_{2,t}$ is $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$ is $C_3$ ) then ( <i>output</i> is $w_{9,t}$ )



- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_1$ ) then (*output*  
is  $w_{10,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_2$ ) then (*output*  
is  $w_{11,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_3$ ) then (*output*  
is  $w_{12,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_1$ ) then (*output*  
is  $w_{13,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_2$ ) then (*output*  
is  $w_{14,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_3$ ) then (*output*  
is  $w_{15,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_1$ ) then (*output*  
is  $w_{16,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_2$ ) then (*output*  
is  $w_{17,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_2$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_3$ ) then (*output*  
is  $w_{18,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_1$ ) then (*output*  
is  $w_{19,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_2$ ) then (*output*  
is  $w_{20,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_1$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_3$ ) then (*output*  
is  $w_{21,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_1$ ) then (*output*  
is  $w_{22,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_2$ ) then (*output*  
is  $w_{23,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_2$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_3$ ) then (*output*  
is  $w_{24,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_1$ ) then (*output*  
is  $w_{25,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_2$ ) then (*output*  
is  $w_{26,t}$ )
- If ( $X_{1,t}$  is  $A_3$ ) and ( $X_{2,t}$  is  $B_3$ ) and ( $X_{3,t}$  is  $C_3$ ) then (*output*  
is  $w_{27,t}$ )

Tabel 3.4 *Firing strength* ( $w_{i,t}$ ) pelatihan *generalized bell* konstan

$w_{1,t}$	$w_{2,t}$	$w_{3,t}$	...	$w_{27,t}$
0.192598	0.00628019	0.0031740	...	0.00000009
0.000937	0.00751926	0.0002380	...	0.00000417
0.053297	0.00005738	0.0001224	...	0.00000009
0.000061	0.00000002	0.0000001	...	0.00005281
0.003670	0.00000428	0.0000088	...	0.00000175
0.000051	0.00025412	0.0000099	...	0.00020939
0.000023	0.00003764	0.0000027	...	0.00023064
0.000005	0.00007925	0.0000026	...	0.00210407
0.001237	0.02149176	0.0007464	...	0.00000785
0.001058	0.00000026	0.0000011	...	0.00000084
0.064924	0.00001592	0.0000672	...	0.00000004
0.000005	0.00000126	0.0012297	...	0.00299017

### 3. Lapisan 3

Lapisan ini merupakan lapisan yang menghasilkan *output normalized firing strength*. Persamaan untuk menghitung *normalized firing strength* adalah sebagai berikut.

$$\bar{w}_{i,t} = \frac{w_{i,t}}{\sum_{i=1}^{27} w_{i,t}}, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, 27 \quad (3.2)$$

Tabel 3.5  $\bar{w}_{i,t}$  pelatihan *generalized bell* konstan

$\bar{w}_{1,t}$	$\bar{w}_{2,t}$	$\bar{w}_{3,t}$	...	$\bar{w}_{27,t}$
0.415811	0.01355867	0.0068525	...	0.00000019
0.001107	0.00888548	0.0002813	...	0.00000492
0.048661	0.00005239	0.0001117	...	0.00000009
0.000052	0.00000002	0.0000001	...	0.00004493
0.003278	0.00000382	0.0000079	...	0.00000157
0.000070	0.00035296	0.0000137	...	0.00029082
0.000058	0.00009344	0.0000067	...	0.00057250

0.000004	0.00007185	0.0000023	...	0.00190771
0.000994	0.01726741	0.0005997	...	0.00000630
0.000911	0.00000022	0.0000009	...	0.00000072
0.051484	0.00001263	0.0000533	...	0.00000003
0.000005	0.00000126	0.0012343	...	0.00300141

4. Lapisan 4

Lapisan 4 merupakan lapisan neuron yang adaptif. Lapisan ini menghasilkan *output* berupa perkalian antara  $\bar{w}_{i,t}$  dengan  $f_i = p_i X_{1,t} + q_i X_{2,t} + r_i X_{3,t} + s_i$ .

Tabel 3.6 Perhitungan *output* lapisan 4

<b>Output Lapisan 4</b>	
<b>Output Linier</b>	<b>Output Konstan</b>
$\bar{w}_{1,t}f_1 = \bar{w}_{1,t}(p_1X_{1,t} + q_1X_{2,t} + r_1X_{3,t} + s_1)$	$\bar{w}_{1,t}f_1 = \bar{w}_{1,t}(s_1)$
$\bar{w}_{2,t}f_2 = \bar{w}_{2,t}(p_2X_{1,t} + q_2X_{2,t} + r_2X_{3,t} + s_2)$	$\bar{w}_{2,t}f_2 = \bar{w}_{2,t}(s_2)$
$\bar{w}_{3,t}f_3 = \bar{w}_{3,t}(p_3X_{1,t} + q_3X_{2,t} + r_3X_{3,t} + s_3)$	$\bar{w}_{3,t}f_3 = \bar{w}_{3,t}(s_3)$
⋮	⋮
$\bar{w}_{26,t}f_{26} = \bar{w}_{26,t}(p_{26}X_{1,t} + q_{26}X_{2,t} + r_4X_{3,t} + s_{26})$	$\bar{w}_{26,t}f_{26} = \bar{w}_{26,t}(s_{26})$
$\bar{w}_{27,t}f_{27} = \bar{w}_{27,t}(p_{27}X_{1,t} + q_{27}X_{2,t} + r_{27}X_{3,t} + s_{27})$	$\bar{w}_{27,t}f_{27} = \bar{w}_{27,t}(s_{27})$

Persamaan 3.3 merupakan persamaan untuk *output* model ANFIS.

$$y = A\theta \tag{3.3}$$

$$\theta = (A^T A)^{-1} A^T y \tag{3.4}$$

Estimasi parameter konsekuen  $\theta$  ( $p_i, q_i, r_i$ , dan  $s_i$ ) diperoleh melalui metode LSE Rekursif. Parameter tersebut akan diperbarui secara rekursif. Perhitungan LSE Rekursif menggunakan bantuan fungsi *recursivels* pada MATLAB. Pada *output* konstan, matriks  $A$  adalah matriks yang memiliki ordo  $12 \times 27$  dan anggotanya merupakan  $\bar{w}_{i,t}$  dapat dilihat pada Tabel 3.5. Variabel  $y$  dalam LSE Rekursif adalah data aktual produksi tembakau yang berisi 12 data yang membentuk matriks  $y_{12 \times 1}$ . *Output* parameter dari metode LSE Rekursif ini berupa matriks  $\theta$  yang merupakan parameter konsekuen ( $p_i, q_i, r_i$ , dan  $s_i$ ).

Tabel 3.7 Parameter  $\theta$  *generalized bell* konstan

Parameter	Output
$s_1$	123.273,43
$s_2$	975,17
$s_3$	2.785,004
$\vdots$	$\vdots$
$s_{25}$	9.866,42
$s_{26}$	37.230,68
$s_{27}$	3.777,85

Parameter  $\theta$  yang sudah didapatkan tersebut digunakan untuk menentukan model ANFIS untuk sistem prediksi produksi tembakau. Secara matematis, model ANFIS dengan fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan dapat dilihat pada Persamaan 2.10.

$$Y_{t+1} = \bar{w}_{1,t}(123.273,43) + \bar{w}_{2,t}(975,17) + \bar{w}_{3,t}(2.785,004) + \dots + \bar{w}_{25,t}(9.866,42) + \bar{w}_{26,t}(37.230,68) + \bar{w}_{27,t}(3.777,85) \quad (3.5)$$

##### 5. Lapisan 5

Lapisan terakhir ini menghasilkan *output* proses pelatihan dari metode ANFIS. *Output* diperoleh melalui perkalian antara matriks A dengan parameter  $\theta$ . Berikut ini merupakan *output* lapisan 5 dari masing-masing tipe linier dan konstan.

Tabel 3.8 *Output* proses pelatihan *generalized bell*

$t + 1$	Data Aktual	Output Tipe Linier	Output Tipe Konstan
2007	152.666,93	151.264,67	152.664,51
2008	160.249,35	158.573,43	160.253,10
2009	161.200,95	159.127,49	161.199,93
2010	176.239,65	174.011,47	176.237,94
2011	303.364	301.087,34	303.361,43
2012	209.640,5	206.317,24	209.635,73
2013	243.394,8	241.051,14	243.386,35
2014	221.394,46	218.784,84	221.383,88
2015	63.639,3	61.282,11	63.637,86
2016	92.617,76	91.671,05	92.614,76
2017	183.204,6	181.877,42	183.198,89

2018	232.983,6	231.340,05	232.903,60
------	-----------	------------	------------

### Proses Pengujian (*Testing*)

Proses pengujian adalah proses memasukkan data baru yang tidak pernah dilatihkan sebelumnya yang bertujuan untuk menguji model matematis dari sistem prediksi. Perhitungan dalam proses ini sama dengan proses pelatihan namun tidak dilakukan pencarian nilai parameter dalam tahapan proses pengujian. Proses pengujian dilakukan menggunakan variabel *input* tahun 2019 dan variabel *output* tahun 2020.

Tabel 3.9 *Output* proses pengujian *generalized bell*

Data Aktual	<i>Generalized Bell</i>		<i>Gaussian</i>	
	linier	Konstan	Linier	Konstan
199.386,7	224.481	199.205,2	227.985,6	191.039,9

Tabel 3.9 menunjukkan bahwa fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan tipe *output* konstan menunjukkan hasil yang mendekati data aktual. Hasil ANFIS menggunakan fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan tipe output konstan menghasilkan produksi tembakau sebesar 199.205,2 kuintal terpaut selisih sebesar 181,5 kuintal dengan data aktual. Dari proses pengujian didapatkan bahwa fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan tipe *output* konstan menghasilkan pengujian ANFIS yang paling baik untuk sistem prediksi produksi tembakau.

### Proses Prediksi

Proses prediksi ini dilakukan untuk produksi tembakau di masa mendatang. Alur pengerjaan pada proses prediksi sama dengan proses pengujian. Data *input* yang digunakan untuk prediksi dimasukkan ke setiap lapisan jaringan ANFIS. Proses prediksi menggunakan data *input* tahun 2020 untuk memprediksi *output* tahun 2021. Berikut ini merupakan variabel *input* yang digunakan.

Tabel 3.10 Prediksi produksi tembakau *generalized bell*

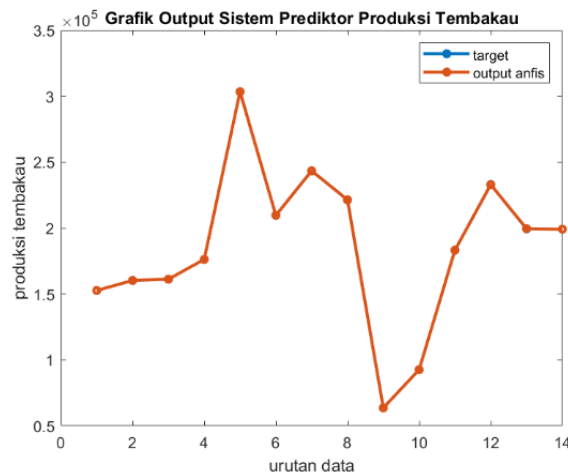
<i>Generalized Bell</i>		<i>Gaussian</i>	
<i>Output</i> Linier	<i>Output</i> Konstan	<i>Output</i> Linier	<i>Output</i> Konstan
198.283,77	199.603,71	199.485,96	186.689,83

Tabel 3.10 menunjukkan bahwa prediksi ANFIS untuk produksi tembakau Kabupaten Jember pada tahun 2021 terletak pada rentang 186.689,83 kuintal sampai dengan 199.603,71 kuintal. Model terbaik ANFIS yang sudah didapatkan sebelumnya dengan fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan menunjukkan prediksi produksi tembakau pada tahun 2021 sebesar 199.603,71 kuintal. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahun 2021 produksi tembakau

mengalami kenaikan yang tidak terlalu jauh dari tahun 2020 yakni sebesar 217,01 kuintal.

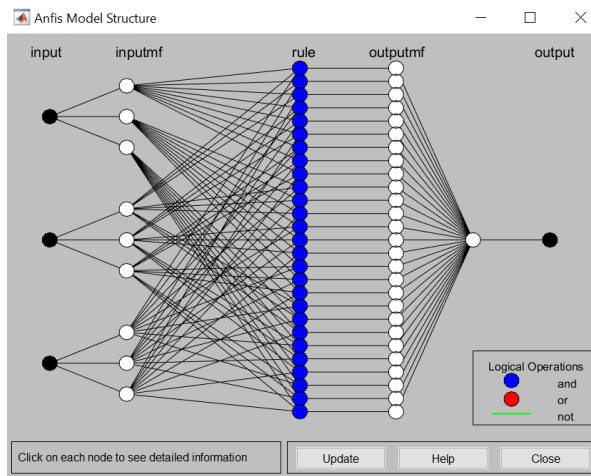
Tabel 3.1 menunjukkan bahwa angka produktivitas tembakau untuk prediksi tahun 2020 dan tahun 2021 tidak jauh berbeda yakni sebesar 15,32% dan 15,58% sehingga mengakibatkan produksi tembakau tahun 2020 dan tahun 2021 juga tidak terlalu jauh berbeda. Berdasarkan literatur, curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan tanaman tembakau layu sehingga produksi tembakau dapat berkurang [13]. Tabel 3.1 menunjukkan bahwa jumlah curah hujan untuk prediksi tahun 2021 mengalami penurunan. Penurunan curah hujan tersebut mengakibatkan produksi tembakau tahun 2021 bertambah dibandingkan dengan produksi tembakau tahun 2020. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh bahwa produktivitas tembakau dan curah hujan berpengaruh terhadap jumlah produksi tembakau.

Perbandingan antara data aktual dengan *output* pelatihan, pengujian, dan prediksi menggunakan *generalized bell* tipe *output* konstan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Grafik target dan *ouput* ANFIS tipe konstan

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa grafik antara target dengan *output* ANFIS saling berhimpit. Hal ini berarti bahwa perbandingan keduanya tidak terlalu jauh berbeda. *Output* ANFIS yang dihasilkan mendekati target yang dituju. *Software* MATLAB sudah menyediakan *toolbox* yang dapat digunakan untuk memprediksi data menggunakan ANFIS. *Toolbox* tersebut adalah ANFIS Editor. ANFIS Editor dapat diakses dengan cara mengetik *anfisedit* pada *command window*. struktur jaringan ANFIS sistem prediksi produksi tembakau dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Struktur jaringan model ANFIS untuk prediksi tembakau

### Perhitungan Akurasi

Perhitungan akurasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE adalah nilai rata-rata perbedaan absolut yang ada diantara nilai prediksi dan nilai asli yang digambarkan sebagai hasil persenan dari nilai asli [18]. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung MAPE.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|y_i - p_i|}{y_i}}{n} \times 100\% \tag{3.6}$$

Dimana  $y_i$  adalah data aktual,  $p_i$  adalah *output* ANFIS, dan  $n$  adalah banyak data.

Tabel 3.11 Perbandingan MAPE proses pelatihan

Fungsi Keanggotaan	Tipe Output	MAPE Perhitungan Manual	MAPE ANFIS Editor	Kriteria
<i>Generalized Bell</i>	Linier	1,29%	1,36%	Sangat Baik
<i>Generalized Bell</i>	Konstan	0,0049%	0,00015%	Sangat Baik
<i>Gaussian</i>	Linier	0,511%	0,511%	Sangat Baik
<i>Gaussian</i>	Konstan	0,0088%	0,0003%	Sangat Baik

MAPE paling kecil pada proses pelatihan ditunjukkan oleh fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan tipe *output* konstan. Hasil MAPE yang dihasilkan pada perhitungan manual sebesar 0,0049% sedangkan pada perhitungan ANFIS *Editor* sebesar 0,00015%. Hasil tersebut termasuk pada *range* dengan model prediksi sangat baik.

Tabel 3.12 Perbandingan MAPE proses pengujian

<b>Fungsi Keanggotaan</b>	<b>Tipe Output</b>	<b>MAPE Perhitungan Manual</b>	<b>MAPE ANFIS Editor</b>	<b>Kriteria</b>
<i>Generalized Bell</i>	Linier	11.13%	12,59%	Baik
<i>Generalized Bell</i>	Konstan	0.12%	0,09%	Sangat Baik
<i>Gaussian</i>	Linier	14.46%	14,34%	Baik
<i>Gaussian</i>	Konstan	4.19%	4,19%	Sangat Baik

Hasil MAPE paling kecil pada proses pengujian ditunjukkan oleh fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan. MAPE yang dihasilkan pada perhitungan manual dan ANFIS Editor berturut-turut sebesar 0,12% dan 0,09%. Berdasarkan analisis tingkat akurasi MAPE [18] pada proses pelatihan dan pengujian didapatkan model ANFIS terbaik untuk sistem prediksi produksi tembakau Kabupaten Jember adalah menggunakan fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan.

Akurasi prediksi tersebut menunjukkan bahwa model yang dibuat untuk sistem prediksi produksi tembakau sudah sangat baik. Model dapat menunjukkan hasil yang akurat terkait jumlah produksi tembakau. Akurasi model tersebut juga menunjukkan bahwa variabel *input* yang digunakan sudah sesuai dan berpengaruh terhadap produksi tembakau. Variabel yang paling berpengaruh dan berkaitan erat dengan produksi tembakau adalah curah hujan dan produktivitas tembakau.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, model ANFIS terbaik untuk sistem prediksi produksi tembakau adalah menggunakan fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan tipe *output* konstan dengan jumlah fungsi keanggotaan sebesar 3 buah. Hasil prediksi produksi tembakau di Kabupaten Jember pada tahun 2021 adalah 199.603,71 kuintal. Variabel yang paling berpengaruh dan harus diperhatikan kedepannya terhadap produksi tembakau tersebut adalah curah hujan dan produktivitas tembakau.

Model ANFIS sistem prediksi produksi tembakau terbaik dengan fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan menghasilkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada proses pelatihan dan pengujian berturut-turut sebesar 0,00015% dan 0,091%. Hasil MAPE yang dihasilkan kurang dari 10%. Angka tersebut menunjukkan bahwa model ANFIS sangat akurat. Model dengan tipe *output* konstan menunjukkan hasil lebih baik dibanding dengan tipe *output* linier. Metode ANFIS adalah metode yang akurat dan cocok digunakan untuk prediksi produksi.

MAPE model ANFIS yang dihasilkan oleh perhitungan manual dan ANFIS editor tidak jauh berbeda. Model ANFIS terbaik dengan fungsi keanggotaan *generalized bell* tipe *output* konstan memiliki *error* pengujian berturut-turut sebesar 0,12% untuk perhitungan manual dan 0,09% untuk ANFIS editor. Perhitungan



model menggunakan ANFIS *editor* menghasilkan *output* yang lebih akurat dan disarankan menggunakan data *timeseries* yang lebih banyak untuk hasil yang lebih baik.

## REFERENSI

- [1] Kementerian Keuangan. 2021. *APBN KITA (Kinerja dan Fakta)*. Jakarta: Kementerian Keuangan Republik Indonesia.
- [2] Badan Pusat Statistika Jember. 2021. Luas Panen, Rata-Rata Produksi, dan Total Produksi Tembakau Voor Oogst Kasturi Menurut Kecamatan. <https://jemberkab.bps.go.id/statictable/2020/11/10/220/luas-panen-rata-rata-produksi-dan-total-produksi-tembakau-voor-oogst-kasturi-menurut-kecamatan-2019.html> [Diakses pada 09 Mei 2021].
- [3] F. Liza, dan W. Sulistijanti, “Prediksi Produksi Dan Luas Area Tanam Tembakau Di Indonesia Dengan Metode Artificial Neural Network.” *Prosiding Seminar Edusainstech. EDUSAINTEK*, vol. 4, pp. 319-333, 2020.
- [4] J. Sarkar, Z. H. Prottoy, M. T. Bari, dan M. A. Al Faruque, “Comparison of ANFIS and ANN modeling for predicting the water absorption behavior of polyurethane treated polyester fabric” *Heliyon*, vol. 7, no. 9, 2021, doi : [10.1016/j.heliyon.2021.e08000](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08000).
- [5] R. Del, V. X. C. Narca, F. T. J. Laconsy, dan C. J. Alliac, “Weather Forecasting Rain Probability in Cebu Using ANFIS and Bayesian Network.” *In: 2021 1st International Conference in Information and Computing Research (iCORE)*, pp. 39-43, 2021, doi: [10.1109/iCORE54267.2021.00026](https://doi.org/10.1109/iCORE54267.2021.00026).
- [6] S. Kusumadewi, S. Hartati, A. Harjoko, dan R. Wardoyo, *Fuzzy multiattribute decision making (fuzzy madm)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [7] T. N. Ruminta, “Simulasi dan Prediksi Curah Hujan dan Produksi Tanaman Di Jawa Barat Menggunakan ANFIS.” *Jurnal Matematika Integratif*, vol. 13, no. 2, pp. 83-94, 2017, doi : [10.24198/jmi.v13.n2.11844.83-94](https://doi.org/10.24198/jmi.v13.n2.11844.83-94).
- [8] R. F. Rahmat, Nurmawan, S. Sembiring, M. F. Syahputra, dan Fadli, “Adaptive neuro-fuzzy inference system for forecasting rubber milk production”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 308 no. 1, pp. 1-11, 2018, doi : [10.1088/1757-899X/308/1/012014](https://doi.org/10.1088/1757-899X/308/1/012014).
- [9] W. Suparta dan A. A. Samah, “Rainfall prediction by using ANFIS times series technique in South Tangerang, Indonesia”. *Geodesy and Geodynamics*, vol. 11, no. 6, pp. 411-417, 2020, doi : [10.1016/j.geog.2020.08.001](https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.08.001).
- [10] D. J. Armaghani dan P. G. Asteris, “A comparative study of ANN and ANFIS models for the prediction of cement-based mortar materials compressive strength.” *Neural Computing and Applications*, vol. 33, no. 9, pp. 4501-4532, 2021, doi : [10.1007/s00521-020-05244-4](https://doi.org/10.1007/s00521-020-05244-4).
- [11] S. A. Hardiyanti dan Q. Shofiyah, “Prediksi kasus COVID-19 di Indonesia menggunakan metode adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS).” *In Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, vol. 6, no. 1, pp. 974-981, 2020.
- [12] A. H. Nurcahyono, F. Nhita, D. Saepudin, dan A. Aditsania, “Price prediction of chili in bandung regency using support vector machine (SVM) optimized with an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS).” *In 2019 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, pp. 1-6, 2019, doi : [10.1109/ICoICT.2019.8835367](https://doi.org/10.1109/ICoICT.2019.8835367).
- [13] N. Herlina, N. Azizah, dan E. P. Pradiga, “Pengaruh Suhu dan Curah Hujan terhadap Produktivitas Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) di Kabupaten Malang.” *PLANTROPICA*:

- Journal of Agricultural Science*, vol. 5, no. 1, pp. 52-63, 2020.
- [14] M. Lutfi dan N. Baladina, "Analisis efisiensi teknis penggunaan faktor produksi pertanian pada usahatani tembakau (Studi kasus di Desa Polagan Kecamatan Galis Kabupaten Pamekasan)." *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis (JEPA)*, vol. 2, no. 3, pp. 226-233, 2018, doi : [10.21776/ub.jepa.2018.002.03.7](https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2018.002.03.7).
- [15] Soetrisno, E. Solihahani, F. A. Zulan, N. Inayatin, N. Susanti, dan Q. Zuniana, *Agribisnis Tembakau Besuki Na-Oogst*, Jember: Surya Pena Gemilang, 2014.
- [16] E. Sumartono, "Analisis Produksi Tembakau Rajangan Tipe Magelangan dalam Pola Kemitraan CV. Merabu-PT. Djarum Kudus." *Jurnal AGRISEP: Kajian Masalah Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, vol. 14, no. 2, pp. 131-146, 2015, doi : [10.31186/jagrisep.14.2.131-146](https://doi.org/10.31186/jagrisep.14.2.131-146).
- [17] T. Mustaqim, K. Umam, dan M. A. Muslim, "Twitter text mining for sentiment analysis on government's response to forest fires with vader lexicon polarity detection and k-nearest neighbor algorithm." *6<sup>th</sup> International Conference in Mathematics, Science, and Education (ICMSE 2019) Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1567, no. 3, pp.032024, 2020, doi : 10.1088/1742-6596/1567/3/032024.
- [18] I. Nabillah dan I. Ranggadara, "Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut." *JOINS (Journal of Information System)*, vol. 5, no. 2, pp. 250-255, 2020, doi : 10.33633/joins.v5i2.3900.