

Pemodelan Fuzzy Inference System Tsukamoto Untuk Prediksi Curah Hujan Studi Kasus Kota Batu

Ida Wahyuni¹, FadhliAlmu'iini Ahda²

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, STMIK ASIA, Malang

¹idawahyuni@asia.ac.id, ² fadhli@asia.ac.id

ABSTRAK. Tidak menentunya pola curah hujan mengakibatkan petani apel menjadi kesulitan dalam menentukan waktu pembungaan yang mengakibatkan hasil panen apel menjadi tidak maksimal. Banyak metode yang digunakan untuk memprediksi curah hujan, salah satunya adalah *Fuzzy Inference System* (FIS) Tsukamoto. Penelitian terdahulu yang menggunakan metode ini berhasil mendapatkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang cukup kecil. Pada penelitian ini digunakan metode FIS Tsukamoto untuk membuat pemodelan prediksi curah hujan pada empat lokasi di daerah Batu, Jawa Timur dengan tujuan untuk mendapatkan RMSE yang kecil pula. Metode FIS Tsukamoto digunakan untuk memprediksi curah hujan dengan data *time series* mulai tahun 2005 sampai tahun 2014. Hasil dari penelitian ini adalah prototipe metode FIS Tsukamoto yang dapat digunakan untuk memprediksi curah hujan dengan nilai *error* RMSE pada daerah Junggo sebesar 9.196, pada daerah Pujon sebesar 9.407, pada daerah Tinjomulyo sebesar 8.798, pada daerah Ngujung sebesar 8.825.

Kata Kunci: Curah Hujan, *Fuzzy Inference System*, Kota Batu, Prediksi, Tsukamoto.

ABSTRACT. The uncertain pattern of rainfall causes apple farmers to be difficult in determining the flowering time that resulted in the apple harvest becomes not maximal. Many methods are used to predict rainfall, one of which is Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto. Earlier research using this method managed to get a fairly small Root Mean Square Error (RMSE) value. In this research, FIS Tsukamoto method is used to create rainfall prediction modeling in four locations in Batu, East Java with the aim to get a small RMSE also. Tsukamoto's FIS method is used to predict rainfall with time series data from 2005 to 2014. The result of this research is the prototype of Tsukamoto FIS method that can be used to predict rainfall with RMSE error value in Junggo area of 9,196, in Pujon area of 9,407, in Tinjomulyo area of 8,798, in Ngujung area of 8,825.

Keyword: Rainfall, Fuzzy Inference System, Batu City, Prediction, Tsukamoto.

1. PENDAHULUAN

Bidang perkebunan mendapat banyak dampak buruk dari tidak menentunya curah hujan. Proses pembungaan apel menjadi sulit karena tidak menentunya pola curah hujan. Apabila proses pembungaan apel tidak maksimal, maka akan berpengaruh pada hasil panen (Tutin & Fernandez, 1993).

Curah hujan yang tidak menentu ternyata juga memberikan dampak merugikan pada perkebunan di daerah Batu, Jawa Timur (BPS, 2015). Salah satu contoh tidak menentunya curah hujan adalah pada bulan September sampai Oktober 2014 tidak terjadi hujan, hujan lebat baru dimulai pada bulan Desember dengan curah hujan mencapai 412 mm, hal ini menyebabkan kondisi cuaca tahun 2014 lebih kering dibandingkan tahun 2013. Karena tidak menentunya curah hujan yang terjadi belakangan ini, produksi apel pada tahun 2014 menurun sebanyak 15% menjadi 708,438. Hasil tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil panen apel pada tahun 2013 yaitu sebesar 838,915 ton (BPS, 2015).

Curah hujan pada daerah Batu dapat diprediksi dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode peramalan sederhana seperti *fuzzy logic*. Salah satu metode *fuzzy logic* yang pernah digunakan sebagai metode peramalan adalah *fuzzy inference system* Tsukamoto yang pernah digunakan oleh Wahyuni, Mahmudy, & Iryani (2016). Penelitian tersebut melakukan prediksi curah hujan di daerah Tengger, Jawa Timur pada empat kecamatan. Hasil *Error* RMSE terkecil berada di Kecamatan Tatur yaitu 8.64.

Pada penelitian ini akan digunakan metode FIS Tsukamoto untuk memprediksi curah hujan di Daerah Batu menggunakan data dari empat lokasi pos hujan yaitu Junggo, Pujon, Tinjomulyo, dan Ngujung. Data yang digunakan untuk memprediksi curah hujan adalah data curah hujan selama 10 tahun ke belakang mulai tahun 2005 sampai tahun 2014. Variabel yang akan dijadikan parameter input mengacu pada pemodelan yang di gunakan oleh Wahyuni, Mahmudy, & Iryani (2016) yang telah berhasil melakukan memprediksi curah hujan pada daerah Tengger dengan error RMSE yang cukup kecil.

2. METODE PENELITIAN

1. Pemodelan Data Curah Hujan

Prediksi curah hujan pada Daerah Batu, Jawa Timur akan dilakukan dengan data historis curah hujan dari empat lokasi pos hujan yaitu Pos Hujan Junggo, Pos Hujan Pujon, Pos Hujan Tinjomulyo, dan Pos Hujan Ngujung. Setiap data dari lokasi pos hujan tersebut mewakili data historis curah hujan pada empat daerah yaitu Daerah Junggo, Pujon, Tinjomulyo, dan Ngujung. Data curah hujan yang digunakan untuk prediksi mulai dari tahun 2005-2014. Rentang tahun tersebut diambil karena pada tahun-tahun tersebut terjadi perubahan iklim yang mengakibatkan curah hujan menjadi tidak menentu (Wahyuni, dkk, 2017). Data curah hujan yang digunakan adalah data dalam bentuk dasarian atau rata-rata curah hujan dalam sepuluh hari.

Sebelum melakukan penghitungan dengan FIS Tsukamoto untuk prediksi curah hujan di Daerah Batu, perlu ditentukan terlebih dahulu data rentang nilai kriteria yang akan dijadikan data prediksi curah hujan. Pada penelitian ini akan digunakan empat kriteria input. Jumlah input tersebut diambil berdasarkan dari penelitian sebelumnya yang menggunakan empat input yaitu Z_{t-1} atau rata-rata curah hujan 10 hari yang lalu, Z_{t-2} atau rata-rata curah hujan 20 hari yang lalu, Z_{t-17} atau rata-rata curah hujan 17 hari yang lalu, Z_{t-34} atau rata-rata curah hujan 340 hari yang lalu (Wahyuni et al., 2016). Model untuk jumlah output ada satu output yaitu Z_t atau rata-rata curah hujan 10 hari ke depan. Berdasarkan data yang didapat, maka dibuatlah rentang nilai curah hujan yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Rentang Nilai Kriteria Input dan Kriteria Output Curah Hujan

| Kriteria | Rentang Nilai |
|------------|---------------|
| Z_{t-1} | 0.00 - 38.00 |
| Z_{t-2} | 0.00 - 38.00 |
| Z_{t-17} | 0.00 - 38.00 |
| Z_{t-34} | 0.00 - 38.00 |
| Z_t | 0.00 - 38.00 |

Seperti yang ditampilkan pada Tabel 1, ada empat kriteria input untuk FIS Tsukamoto dengan rentang nilai masing-masing 0.00 – 38.00. Nilai kriteria input mengambil dari data historis curah hujan selama sepuluh tahun dimulai pada tahun 2005 sampai 2014 dalam bentuk dasarian. Terdapat 360 baris data dasarian dengan asumsi bahwa dalam 1 tahun terdapat 36 data dasarian. Contoh data yang digunakan untuk prediksi curah hujan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Contoh Data Curah Hujan Pada Empat Lokasi di Batu

| Junggo | Pujon | Tinjomulyo | Ngujung |
|--------|--------|------------|---------|
| 2.400 | 3.600 | 5.500 | 8.200 |
| 5.300 | 5.900 | 7.400 | 6.000 |
| 5.364 | 4.545 | 8.000 | 5.091 |
| 0.000 | 4.000 | 1.600 | 1.100 |
| 18.400 | 1.600 | 15.100 | 12.200 |
| 13.000 | 6.818 | 4.727 | 3.000 |
| 13.000 | 10.100 | 9.800 | 13.000 |
| 6.200 | 3.600 | 4.500 | 1.800 |
| 6.909 | 6.000 | 2.909 | 2.455 |
| 7.400 | 23.800 | 1.900 | 5.400 |
| ... | ... | ... | ... |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.000 | 3.800 | 0.000 | 0.000 |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.182 | 5.091 | 0.091 | 0.182 |
| 0.000 | 19.300 | 2.000 | 1.800 |
| 7.600 | 10.900 | 9.300 | 10.100 |
| 16.200 | 7.100 | 6.300 | 2.000 |
| 21.200 | 14.900 | 15.500 | 10.600 |
| 11.800 | 18.400 | 11.000 | 13.100 |
| 11.545 | 20.273 | 13.364 | 12.727 |

2. Pemodelan Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* dapat diartikan sebagai suatu kesatuan yang mewakili keadaan tertentu dalam sebuah variabel *fuzzy* (Mazenda, Soebroto, & Dewi, 2015). Sedangkan nilai linguistik disatukan dengan *fuzzy set*, yang masing-masing memiliki fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan (Sari & Mahmudy, 2015). Pada penelitian ini, digunakan himpunan *fuzzy* dengan dua nilai linguistik yaitu rendah dan tinggi. Pembentukan himpunan *fuzzy* ini disesuaikan dengan data input yang digunakan untuk prediksi curah hujan. Data himpunan *fuzzy* dan nilai linguistik untuk kriteria input dan kriteria output disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Himpunan Fuzzy untuk Kriteria Input

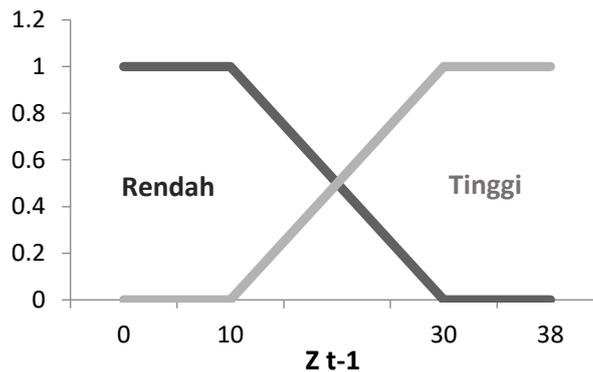
| Kriteria Input | Himpunan Fuzzy | |
|----------------|------------------|---------------|
| | Nilai Linguistik | Rentang Nilai |
| Z t-1 | Rendah | 0.00 - 30.00 |
| | Tinggi | 10.00 - 38.00 |
| Z t-2 | Rendah | 0.00 - 30.00 |
| | Tinggi | 10.00 - 38.00 |
| Z t-17 | Rendah | 0.00 - 30.00 |
| | Tinggi | 10.00 - 38.00 |
| Z t-34 | Rendah | 0.00 - 30.00 |
| | Tinggi | 10.00 - 38.00 |

Tabel 4 Himpunan Fuzzy untuk Kriteria Output

| Kriteria Output | Himpunan Fuzzy | |
|-----------------|------------------|---------------|
| | Nilai Linguistik | Rentang Nilai |
| Z t | Rendah | 0.00 - 20.00 |
| | Sedang | 15.00 - 30.00 |
| | Tinggi | 30.00 - 38.00 |

3. Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi dapat didefinisikan sebagai perhitungan nilai *crisp* atau nilai input menjadi derajat keanggotaan. Perhitungan dalam proses fuzzyfikasi didasarkan pada batas-batas fungsi keanggotaan (Restuputri, Mahmudy, & Cholissodin, 2015). Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dengan 4 kriteria input ditunjukkan pada Gambar 1 sampai Gambar 4. Sedangkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk kriteria output ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan rumus fungsi keanggotaan dari masing-masing kriteria input dan kriteria output ditunjukkan pada Persamaan 2 - Persamaan 6.



Gambar 1 Fungsi Keanggotaan Input Zt-1

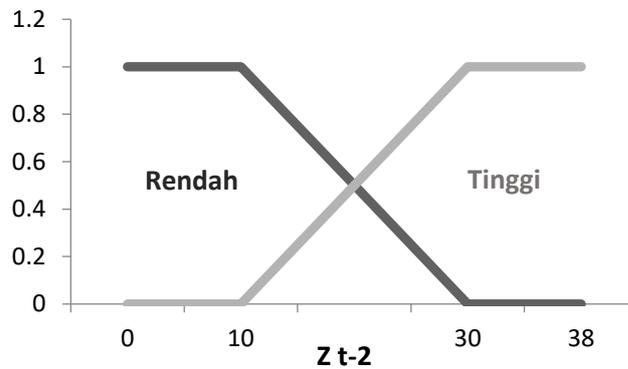
Fungsi keanggotaan rendah:

$$\mu_{Zt-1 \text{ Rendah}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 10 \\ \frac{(30-x)}{(30-10)}; & 10 < x < 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan tinggi:

(1)

$$\mu_{Zt-1 \text{ Tinggi}}(x) = \begin{cases} 1; & x \geq 30 \\ \frac{(x-10)}{(30-10)}; & 10 \leq x < 30 \\ 0; & x \leq 10 \end{cases}$$



Gambar 2 FungsiKeanggotaan Input Zt-2

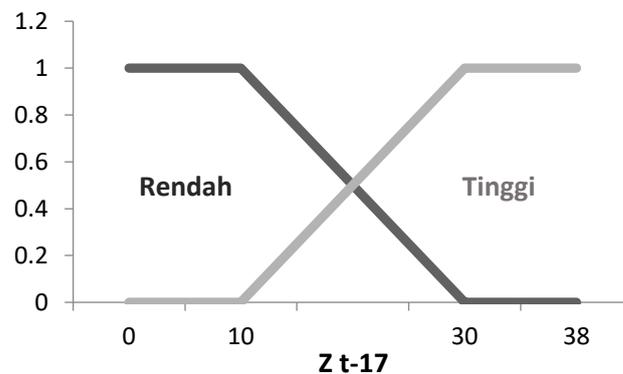
Fungsi keanggotaan rendah:

$$\mu_{Zt-2 \text{ Rendah}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 10 \\ \frac{(30-x)}{(30-10)}; & 10 < x < 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan tinggi:

$$\mu_{Zt-2 \text{ Tinggi}}(x) = \begin{cases} 1; & x \geq 30 \\ \frac{(x-10)}{(30-10)}; & 10 \leq x < 30 \\ 0; & x \leq 10 \end{cases}$$

(2)



Gambar 3 Fungsi Keanggotaan Input Zt-17

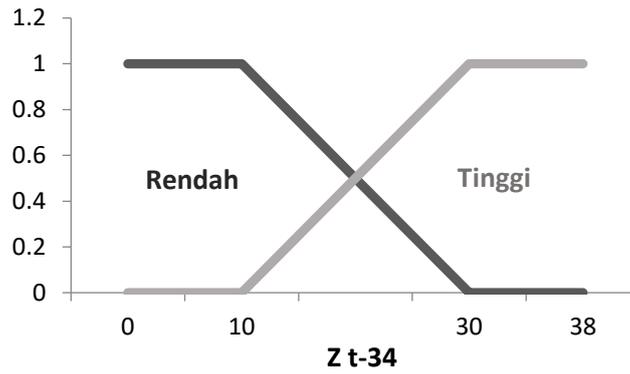
Fungsi keanggotaan rendah:

$$\mu_{Zt-17 \text{ Rendah}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 10 \\ \frac{(30-x)}{(30-10)}; & 10 < x < 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan tinggi:

$$\mu_{Zt-17 \text{ Tinggi}}(x) = \begin{cases} 1; & x \geq 30 \\ \frac{(x-10)}{(30-10)}; & 10 \leq x < 30 \\ 0; & x \leq 10 \end{cases}$$

(3)



Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Input Zt-34

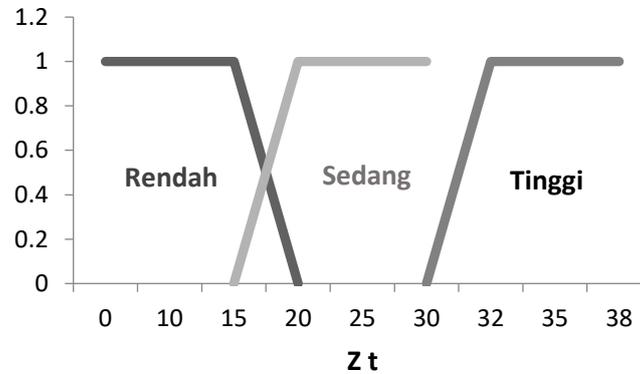
Fungsi keanggotaan rendah:

$$\mu_{Zt-34 \text{ Rendah}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 10 \\ \frac{(30-x)}{(30-10)}; & 10 < x < 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan tinggi:

$$\mu_{Zt-34 \text{ Tinggi}}(x) = \begin{cases} 1; & x \geq 30 \\ \frac{(x-10)}{(30-10)}; & 10 \leq x \leq 30 \\ 0; & x \leq 10 \end{cases}$$

(4)



Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Output Zt

Fungsi keanggotaan rendah:

$$\mu_{Zt \text{ Rendah}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 15 \\ \frac{20-x}{20-15}; & 15 < x < 20 \\ 0; & x \geq 20 \end{cases}$$

Derajat keanggotaan sedang:

$$\mu_{Zt \text{ Sedang}}(x) = \begin{cases} 1; & 20 < x < 30 \\ \frac{x+15}{20-15}; & 15 < x < 20 \\ 0; & x < 15 \text{ dan } x > 30 \end{cases}$$

(6)

Derajat keanggotaan tinggi:

$$\mu_{Zt\text{ Tinggi}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \geq 32 \\ \frac{30 + x}{32 - 30} & ; 30 < x < 32 \\ 0 & ; x \leq 30 \end{cases}$$

Pada Gambar 1 sampai Gambar 4 ditunjukkan fungsi keanggotaan kriteria input Zt-1, Zt-2, Zt-3, dan Zt-4 dengan batas bawah 0.00 dan batas atas 38.00. Pada kriteria input, nilai linguistik rendah mempunyai rentang nilai 0.00-30.00 dan nilai linguistik tinggi dengan rentang nilai 10.00-38.00. Sedangkan pada kriteria output yang ditunjukkan pada Gambar 5, nilai linguistik rendah mempunyai rentang nilai 0.00-20.00, nilai linguistik sedang mempunyai rentang nilai 15.00-30.00, dan nilai linguistik tinggi mempunyai rentang nilai 30.00-38.00.

4. Fuzzy Inference System

Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System/FIS*) merupakan suatu sistem yang melakukan perhitungan berdasarkan pada konsep teori himpunan *fuzzy*, konsep logika *fuzzy*, dan aturan *fuzzy* (Kusumadewi, 2003). Dalam FIS terdapat input *fuzzy* berupa nilai *crisp*. Nilai *crisp* tersebut akan dihitung berdasarkan aturan-aturan yang telah dibuat menghasilkan besaran *fuzzy* disebut proses fuzzifikasi.

FIS Tsukamoto membentuk sebuah *rule based* atau basis aturan dalam bentuk “sebab-akibat” atau “if-then”. Langkah pertama dalam perhitungan metode FIS Tsukamoto adalah membuat suatu aturan atau *rule base*. Langkah selanjutnya, dihitung derajat keanggotaan sesuai dengan aturan yang telah dibuat. Setelah diketahui nilai derajat keanggotaan dari masing-masing aturan *fuzzy*, dapat ditentukan nilai alpha predikat dengan cara menggunakan operasi himpunan *fuzzy* (Restuputri et al., 2015). Basis aturan atau *rule base FIS* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Basis Aturan atau *Rule Base*

| Rule | Z t-1 | Z t-2 | Z t-17 | Z t-34 | Zt (Keputusan) |
|------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| 1 | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah | Rendah |
| 2 | Rendah | Rendah | Rendah | Tinggi | Rendah |
| 3 | Rendah | Rendah | Tinggi | Rendah | Rendah |
| 4 | Rendah | Rendah | Tinggi | Tinggi | Rendah |
| 5 | Rendah | Tinggi | Rendah | Rendah | Rendah |
| 6 | Rendah | Tinggi | Rendah | Tinggi | Sedang |
| 7 | Rendah | Tinggi | Tinggi | Rendah | Sedang |
| 8 | Rendah | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Sedang |
| 9 | Tinggi | Rendah | Rendah | Rendah | Sedang |
| 10 | Tinggi | Rendah | Rendah | Tinggi | Sedang |
| 11 | Tinggi | Rendah | Tinggi | Rendah | Sedang |
| 12 | Tinggi | Rendah | Tinggi | Tinggi | Tinggi |
| 13 | Tinggi | Tinggi | Rendah | Rendah | Tinggi |
| 14 | Tinggi | Tinggi | Rendah | Tinggi | Tinggi |
| 15 | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Rendah | Tinggi |
| 16 | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi | Tinggi |

5. Analisis Perhitungan

Setelah penentuan *rule base*, langkah berikutnya adalah analisis perhitungan. Pada tahap ini akan diberikan satu contoh perhitungan dengan FIS Tsukamoto untuk menentukan nilai Zt atau nilai hasil prediksi. Perhitungan dimulai dari proses *fuzzyfikasi* yang dimulai dengan menentukan data nilai untuk setiap kriteria input. Data yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah data historis dari Pos Hujan Junggo. Contoh data nilai untuk kriteria input ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai Kriteria Input dari Data Historis PosHujanJunggo

| Kriteria | Nilai |
|----------|--------|
| Z t-1 | 13.091 |
| Z t-2 | 16.100 |
| Z t-17 | 4.600 |
| Z t-34 | 5.273 |

Kemudian langkah selanjutnya adalah penentuan derajat fungsi keanggotaan dari setiap variabel input. Proses tersebut masuk ke dalam sistem inferensi *fuzzy*. Hasil dari sistem inferensi *fuzzy* ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perhitungan Sistem Inferensi *Fuzzy*

| Rule | Z t-1 | Z t-2 | Z t-17 | Z t-34 | α -predikat | Z | α -predikat * z | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------|------------------------|----|
| 1 | 29.345 | 29.195 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | |
| 2 | 29.345 | 29.195 | 1 | 0 | 0 | 15 | 0 | |
| 3 | 29.345 | 29.195 | 0 | 1 | 0 | 15 | 0 | |
| 4 | 29.345 | 29.195 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | |
| 5 | 29.345 | 15.6 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | |
| 6 | 29.345 | 15.6 | 1 | 0 | 0 | 10 | 0 | |
| 7 | 29.345 | 15.6 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 | |
| 8 | 29.345 | 15.6 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | |
| 9 | 12.591 | 29.195 | 1 | 1 | 1 | 20 | 20 | |
| 10 | 12.591 | 29.195 | 1 | 0 | 0 | 10 | 0 | |
| 11 | 12.591 | 29.195 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 | |
| 12 | 12.591 | 29.195 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | |
| 13 | 12.591 | 15.6 | 1 | 1 | 1 | 40 | 40 | |
| 14 | 12.591 | 15.6 | 1 | 0 | 0 | 30 | 0 | |
| 15 | 12.591 | 15.6 | 0 | 1 | 0 | 30 | 0 | |
| 16 | 12.591 | 15.6 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | |
| $\Sigma \alpha$ -p | | | | | 4 | $\Sigma \alpha$ -predikat * | | 70 |

Langkah terakhir adalah proses defuzzyfikasi hasil akhirnya berupa rata-rata terbobot. Metode *fuzzy inference system* menggunakan beberapa rumus dalam penarikan kesimpulannya, salah satunya adalah yang dipakai dalam penarikan kesimpulan pada Tsukamoto FIS menggunakan rumus *Center Average Defuzzifier*.

$$z = \frac{\sum \alpha_i \cdot p_i \cdot z_i}{\sum \alpha_i \cdot p_i}$$

$$z = \frac{(1 * 5) + (0 * 15) + (\dots) + (0 * 30) + (0 * 30)}{1 + 0 + 0 + 0 + (\dots) + 0 + 0}$$

$$z = \frac{70}{4} = 17.5$$

Berdasarkan perhitungan *defuzzifikasi* dapatkan nilai Z_t atau nilai prediksi curah hujan dalam bentuk dasarian yaitu 17.5. Nilai hasil prediksi tersebut akan dihitung akurasi menggunakan rumus *Root Mean Square Error* (RMSE).

6. Akurasi Sistem

Untuk mengetahui tingkat keakurasi dari hasil prediksi curah hujan di Daerah Batu, dilakukan penghitungan akurasi sistem menggunakan rumus *Root Mean Squared Error* (RMSE) yang dinyatakan dalam Persamaan 6 (Wahyuni & Mahmudy, 2017).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2} \tag{6}$$

- Keterangan:
 RMSE = *Root Mean Squared Error*
 y' = data hasil prediksi
 y_i = data aktual
 n = jumlah data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan ditampilkan hasil prediksi pada empat lokasi di Daerah Batu, yaitu lokasi pos hujan yaitu Junggo, Pujon, Tinjomulyo, dan Ngujung. Data historis curah hujan diambil dari empat stasiun pos hujan tersebut dan dijadikan sebagai data input untuk masing-masing kriteria. Dari data input tersebut akan didapatkan hasil prediksi curah hujan pada sepuluh hari ke depan atau Z_t dengan menggunakan perhitungan FIS Tsukamoto. Hasil prediksi yang ditampilkan adalah hasil prediksi 360 data curah hujan pada daerah Pos Hujan Junggo yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Prediksi Curah Hujan pada Daerah PosHujanJunggo
Hasil Prediksi Curah Hujan di Daerah PosHujanJunggo

| Nomor Data | Data Aktual | Hasil Prediksi | $y-y'$ | $(y-y')^2$ |
|------------|-------------|----------------|---------|------------|
| 1 | 2.400 | 10 | -7.600 | 57.760 |
| 2 | 5.300 | 10 | -4.700 | 22.090 |
| 3 | 5.364 | 10 | -4.636 | 21.496 |
| 4 | 0.000 | 10 | -10.000 | 100.000 |
| 5 | 18.400 | 10 | 8.400 | 70.560 |
| 6 | 13.000 | 15.65052874 | -2.651 | 7.025 |
| 7 | 13.000 | 17.86235632 | -4.862 | 23.643 |
| 8 | 6.200 | 17.86235632 | -11.662 | 136.011 |
| 9 | 6.909 | 12.55 | -5.641 | 31.820 |
| 10 | 7.400 | 10 | -2.600 | 6.760 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 350 | 0.000 | 10 | -10.000 | 100.000 |
| 351 | 0.000 | 10 | -10.000 | 100.000 |
| 352 | 0.000 | 10 | -10.000 | 100.000 |
| 353 | 0.000 | 10 | -10.000 | 100.000 |
| 354 | 0.182 | 10 | -9.818 | 96.397 |
| 355 | 0.000 | 10 | -10.000 | 100.000 |
| 356 | 7.600 | 14.5195 | -6.919 | 47.879 |
| 357 | 16.200 | 14.5795 | 1.621 | 2.626 |
| 358 | 21.200 | 16.5486092 | 4.651 | 21.635 |
| 359 | 11.800 | 14.51355172 | -2.714 | 7.363 |
| 360 | 11.545 | 18.35728736 | -6.812 | 46.401 |

Dari hasil prediksi yang ditampilkan pada Tabel 7 terlihat bahwa FIS Tsukamoto kurang begitu akurat dalam memprediksi curah hujan = 0. Hal tersebut dikarenakan belum ada optimasi dari batasan fungsi keanggotaan pada fuzzy sehingga pemodelan yang dibuat pada penelitian ini masih belum dapat memprediksi curah hujan = 0. Hasil RMSE pada keempat lokasi pos hujan di Daerah Batu ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Nilai RMSE pada Empat Lokasi Pos Hujan di Daerah Batu

| No. | Lokasi Pos Hujan | RMSE FIS Tsukamoto |
|-----|------------------|--------------------|
| 1 | Junggo | 9.196 |
| 2 | Pujon | 9.407 |
| 3 | Tinjomulyo | 8.798 |
| 4 | Ngujung | 8.825 |

Penelitian terdahulu yang pernah menggunakan pemodelan FIS Tsukamoto pernah dilakukan oleh Wahyuni, Mahmudy, & Iryani (2016) untuk prediksi curah hujan di Daerah Tengger, Jawa Timur. Metode FIS Tsumakotodenganpemodelan yang sama digunakan juga digunakan untuk memprediksi curah hujan di Daerah Batu, Jawa Timur dan hasil rata-rata RMSE yang didapatkan relatif sama. Hal ini membuktikan bahwa pemodelan yang diajukan memiliki performa yang sama baik meskipun digunakan dalam data pengujian yang berbeda. Perbandingan hasil RMSE FIS Tsukamoto untuk prediksi curah hujan pada Daerah Tengger dan Daerah Batu ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Rata-Rata Perbandingan RMSE pada Daerah Tengger dan Daerah Batu

| Lokasi | RMSE Tengger | RMSE Batu |
|-----------------------|--------------|-------------|
| 1 | 8.95 | 9.196 |
| 2 | 9.64 | 9.407 |
| 3 | 8.81 | 8.798 |
| 4 | 8.64 | 8.825 |
| Rata-Rata RMSE | 9.01 | 9.05 |

4. KESIMPULAN

Prediksi curah hujan menggunakan metode FIS Tsukamoto pada Daerah Batu dimodelkan dengan empat kriteria input dan satu kriteria output. Kriteria input yang digunakan yaitu Zt-1 atau rata-rata curah hujan 10 hari yang lalu, Zt-2 atau rata-rata curah hujan 20 hari yang lalu, Zt-17 atau rata-rata curah hujan 17 hari yang lalu, Zt-34 atau rata-rata curah hujan 340 hari yang lalu. Data curah hujan yang digunakan untuk prediksi menggunakan data dari empat lokasi pos hujan di Daerah Batu yaitu Pos Hujan Junggo, Pujon, Tinjomulyo, dan Ngujung selama 10 tahun mulai tahun 2005 sampai tahun 2014. Hasil prediksi yang diperoleh mempunyai nilai RMSE yang relatif kecil yaitu pada daerah Junggo sebesar 9.196, pada daerah Pujon sebesar 9.407, pada daerah Tinjomulyo sebesar 8.798, pada daerah Ngujung sebesar 8.825. Nilai RSME tersebut sudah relatif kecil, namun nilai tersebut masih bisa diperkecil lagi dengan menambahkan algoritma untuk mengoptimasi FIS Tsukamoto agar hasil prediksi yang didapatkan bisa lebih akurat (Wahyuni & Mahmudy, 2017), (Wahyuni, Mahmudy, & Iriany, 2017).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini secara financial didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) melalui program hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Karangploso, Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. R. T., & Chapman, N. S. (2004). *Introduction to material management*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- BPS. (2015). *Statistik Daerah Kota Batu 2015*. Batu: BADAN PUSAT STATISTIK KOTA BATU.
- Iriany, A., Mahmudy, W. F., Sulistyono, A. D., & Nisak, S. C. (2015). GSTAR-SUR Model for Rainfall Forecasting in Tengger Region, East Java. *The 1st International Conference on Pure and Applied Research, University Muhammadiyah Malang, 21-22 August*, (1), 1–8.
- Mazenda, G., Soebroto, A. A., & Dewi, C. (2015). Implementasi Fuzzy Inference System (FIS) Metode Tsukamoto pada Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Kualitas Air Sungai. *DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya*, 1–11.
- Restuputri, B. A., Mahmudy, W. F., & Cholissodin, I. (2015). Optimasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Tsukamoto Dua Tahap Menggunakan Algoritma Genetika Pada Pemilihan Calon Penerima Beasiswa dan BBP-PPA (Studi Kasus : PTIIK Universitas Brawijaya Malang). *DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya*, (15), 1–10.
- Sari, N. R., & Mahmudy, W. F. (2015). Fuzzy Inference System Tsukamoto untuk Menentukan Kelayakan Calon Pegawai. *Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia, 2-4 Nopember 2015*, (2002), 2–4.
- Tutin, C. E. G., & Fernandez, M. (1993). Relationships between minimum temperature and fruit production in some tropical forest trees in Gabon. *Journal of Tropical Ecology*, 9(2), 241–248. <https://doi.org/10.1017/S0266467400007239>
- Wahyuni, I., Adam, N. R., Mahmudy, W. F., & Iriany, A. (2017). Modeling Backpropagation Neural Network for Rainfall Prediction in Tengger East Java. *2nd International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET 2017)*, (11), 170–175.
- Wahyuni, I., & Mahmudy, W. F. (2017). Rainfall Prediction in Tengger-Indonesia Using Hybrid Tsukamoto FIS and Genetic Algorithm. *Journal of ICT Research and Applications*, 11(1), 38–54. <https://doi.org/10.5614/itbj.ict.res.appl.2017.11.1.3>
- Wahyuni, I., Mahmudy, W. F., & Iriany, A. (2017). Rainfall Prediction using Hybrid Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) and Genetic Algorithm. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 9(2–8), 51–56.

- Wahyuni, I., Mahmudy, W. F., & Iryani, A. (2016). Rainfall Prediction in Tengger Region Indonesia Using Tsukamoto Fuzzy Inference System. *1st International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering, ICITISEE 2016*, 16, 130–135. <https://doi.org/10.1109/ICITISEE.2016.7803061>