Penerapan *Fuzzy C-Means* dan *Fuzzy Sugeno* dalam Memprediksi Cuaca

Sigit Ispramono Hadi[1], Ermatita[2], Nurul Chamidah[3]
[1,2,3]Program Studi Informatika, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta
[1,2,3]Jl. RS. Fatmawati Raya, Pd. Labu, Kec. Cilandak, Kota Depok, Jawa Barat 12450
email : sasyua26@gmail.com[1], ermatitaz@yahoo.com[2], nurul.chamidah@upnvj.ac.id[3]

Abstrak Cuaca memiliki pengaruh yang besar pada masyarakat Indonesia. Indonesia sebagai negara ekuator mengalami anomali cuaca melebihi negara-negara yang jauh dari ekuator yang menyebabkan sulitnya memprediksi perubahan cuaca karena pengaruh interaksi antara laut dan atmosfer di Samudra Hindia dan Samudra Pasifik yang mengapit Indonesia. Dalam memprediksi kondisi cuaca dengan akurat, diperlukan sistem yang dapat menganalisis dan memprediksi kondisi cuaca yaitu aplikasi prediksi cuaca menggunakan *fuzzy c-means* (FCM) dan *fuzzy sugeno*. Data cuaca yang dipakai adalah data cuaca BMKG Stasiun Geofisika Bandung tahun 2015 – 2020 dengan variabel data input suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin yang menghasilkan data output berupa curah hujan dan cuaca. Proses dimulai dengan membuat fungsi keanggotaan input dengan FCM dan prediksi cuaca dengan *fuzzy sugeno*. Hasil akhir dari penelitian ini adalah sistem prediksi cuaca yang menggunakan data cuaca secara online atau data cuaca dari input pengguna dengan tingkat akurasi hasil prediksi sebesar 71,10 %.

Kata Kunci: Cuaca, Prediksi, *Fuzzy C-Means*, *Fuzzy Sugeno*

1 Pendahuluan

Permukaan bumi diselimuti oleh lapisan atmosfer yang terentang sampai 10.000 km di atas permukaan bumi yang terbagi menjadi lima lapisan yang berbeda berdasarkan suhu mulai dari troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer, dan eksosfer. Lapisan yang paling dekat dengan permukaan bumi adalah troposfer dimana sebagian besar awan dan fenomena cuaca terletak pada lapisan ini [1]. Kepala BMKG Dwikorita Karmawati menjelaskan sulitnya memperkirakan fenomena cuaca di Indonesia. Kesulitan ini muncul karena Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di ekuator dengan luas lautan lebih luas dari daratannya dan diapit oleh dua samudra terbesar di dunia yaitu Samudra Pasifik dan Samudera Hindia serta adanya fenomena interaksi antara laut dan atmosfer di Samudra Pasifik dan Samudra Hindia yang mengapit Indonesia [2].

Kesulitan dalam memprediksi cuaca di Indonesia menyebabkan pentingnya kemampuan dalam memprediksi cuaca yang akurat untuk kebutuhan masyarakat Indonesia. Dalam mendeteksi cuaca di Indonesia yang ekstrim, dibutuhkan teknologi yang dapat memprediksi cuaca secara akurat, salah satunya menggunakan *fuzzy c-means* dan *fuzzy sugeno* dalam penelitian ini. Dalam mencari model prediksi cuaca yang dapat diandalkan, penulis membandingkan beberapa model prediksi cuaca penelitian sebelumnya dan menggabungkan beberapa metode yang sangat berpengaruh pada performa prediksi cuaca sehingga menghasilkan model prediksi cuaca dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Pada penelitian [3] memaparkan pemanfaatan metode *fuzzy c-means* (FCM) dalam pembuatan fungsi keanggotaan dengan menggunakan data cuaca BMKG Wilayah IV Makassar serta *fuzzy* sugeno dalam prakiraan curah hujan dan kondisi cuaca dengan tiga data input yaitu suhu, kelembaban dan kecepatan angin serta kategori curah hujan berdasarkan ketentuan BMKG yaitu Berawan, Hujan Ringan, Hujan Sedang, Hujan Lebat, dan Hujan Sangat Lebat sebagai output. Hasil dari penelitian ini menunjukkan hasil prediksi cuaca menggunakan metode *fuzzy c-means* dan *fuzzy* sugeno memiliki tingkat akurasi yang baik yaitu sebesar 82,19 %.

Pada penelitian [4] menjelaskan penggunaan algoritma optimasi *coarse-to-fine search* dan *fuzzy mamdani* sebagai alternatif lain bagi BMKG dalam memprediksi cuaca menggunakan tiga indikator cuaca yaitu kelembaban udara, suhu udara dan kecepatan angin serta empat kategori curah hujan yaitu Tidak Hujan, Hujan Ringan, Hujan Sedang, dan Hujan Lebat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan sistem yang dibuat dengan metode *fuzzy* mamdani dapat melakukan peramalan cuaca dengan tingkat akurasi yang baik yaitu 84,1 %.

Pada penelitian [5] memanfaatkan metode *fuzzy mamdani* sebagai metode prediksi cuaca pada wilayah diskrit Rangpur negara Bangladesh. Penelitian bertujuan untuk memprediksi cuaca menggunakan parameter suhu, kelembaban dan kecepatan angin yang terbagi menjadi lima kategori berdasarkan sumber data cuaca serta kategori curah hujan yang terbagi menjadi lima kategori berdasarkan sumber data cuaca. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penggunaan metode *fuzzy mamdani* dalam prediksi cuaca memiliki tingkat RMSE sebesar 0,51.

Berdasarkan penelitian di atas, maka penulis membuat penelitian dengan judul *Penerapan Fuzzy C-Means dan Fuzzy Sugeno Dalam Memprediksi Cuaca*. Judul penelitian tersebut dipilih berdasarkan hasil perbandingan model prediksi cuaca pada penelitian sebelumnya. Data cuaca yang akan dipakai adalah data cuaca dari BMKG Stasiun Geofisika Bandung pada tahun 2015 – 2020 dengan data tahun 2015 – 2019 digunakan dalam proses FCM dan data cuaca tahun 2020 digunakan dalam proses pengujian akurasi. Metode yang digunakan pada penelitian ini banyak mengambil dari penelitian pertama kecuali pada bentuk kurva fungsi keanggotaan data input yang mengambil dari penelitian ketiga.

2 Metode Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

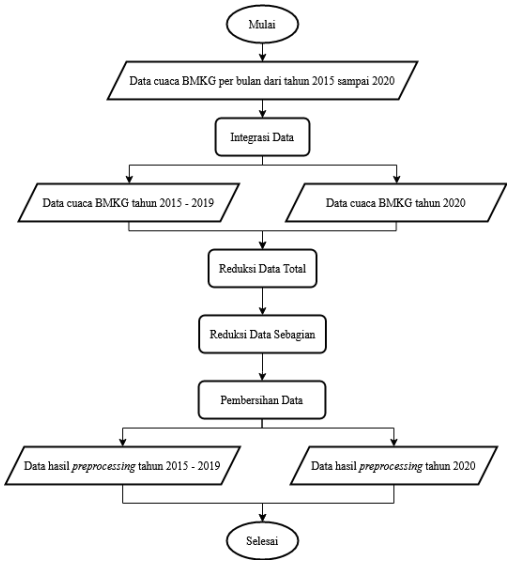
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data cuaca dari BMKG Stasiun Geofisika Bandung tahun 2015 – 2020. Data ini diambil dari situs resmi BMKG di https://dataonline.bmkg.go.id/ dengan format file .xls. Dalam proses pengunduhan data cuaca, situs data online BMKG hanya dapat mengunduh 1 bulan data cuaca dalam satu kali unduhan sehingga banyak file data cuaca yang didapatkan adalah 72 file data cuaca dengan total 2193 data. Variabel yang ada pada data cuaca ada 11 yaitu Tanggal, Suhu udara minimum (Tn), Suhu udara maksimum (Tx), Suhu udara rata-rata (Tavg), Kelembaban rata-rata (RH_avg), Curah hujan (RR), Lama waktu penyinaran maatahari (ss), Kecepatan angin maksimal (ff_x), Arah mata angin ssaat kecepatan angin maksimal (ddd_x), Kecepatan angin rata-rata (ff_avg), dan Arah mata angin (ddd_car). Berikut ini adalah tabel 1 yang menunjukkan contoh data cuaca PADA BULAN Januari 2015 yang didapatkan langsung dari situs data online BMKG :

Tabel 1. Data cuaca BMKG pada bulan Januari 2015

Tanggal	Tn	Tx	Tavg	RH_avg	RR	ss	ff_x	ddd_x	ff_avg
01-01-2015	21		23,5	79	8	2,2	5	323	2
02-01-2015			23,8	77		3	4	343	2
03-01-2015	21	31	23	82	8888	1,9	5	350	2
04-01-2015	21		22,2	87	11,6	3,7	15	300	2
05-01-2015	20	28,8	24,1	79	4	1,8	6	281	2
06-01-2015			23,4		8888	7,1	4	232	2
07-01-2015	20	29,8	23,6	76	1,5	6,3	5	300	2
08-01-2015	21	30,5	25,4	67	0	5,8	5	320	2
09-01-2015	22		24,7	65		8,4	6	281	2
10-01-2015		30	24,9			8,6	5	284	2
11-01-2015	20	29,6	24,4	66		9,5	5	330	2

2.2 *Data Preprocessing*

Sebelum data cuaca BMKG digunakan dalam prediksi cuaca, data harus diolah untuk menghapus atau mengubah data kosong atau salah. Berikut ini adalah gambar 1 yang menunjukkan diagram proses *data preprocessing* :



Gambar. 1. *Data Preprocessing*

Berikut ini adalah langkah *data preprocessing* dari gambar 1 diatas :

1. Integrasi Data (*Data Integration*)
   Data cuaca yang diperoleh dari data online BMKG memiliki batas waktu 1 bulan untuk setiap data cuaca yang diunduh. Dalam mengatasi masalah tersebut semua tabel cuaca BMKG dari bulan Januari 2015 hingga Desember 2019 digabungkan menjadi satu tabel cuaca tahun 2015 - 2019.
2. Reduksi Data (*Data Reduction*)
   Pengurangan data dilakukan untuk menghapus variabel yang tidak akan digunakan dengan penelitian. Data yang akan dihapus adalah lama waktu penyinaran matahari (ss), arah mata angin saat kecepatan angin maksimal (ddd_x), kecepatan angin rata-rata (ddd_car), suhu minimal (Tn), suhu maksimal (Tx), dan kecepatan angin maksimum (f_x). Hasil akhir proses ini adalah data cuaca dengan tiga variabel yaitu suhu rata-rata (Tavg), kelembaban rata-rata (RH_avg), kecepatan angin rata-rata (ff_avg) dan curah hujan (RR). Ketiga variabel ini digunakan sebagai masukan karena variabel-variabel ini digunakan pada penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai acuan penelitian serta variabel tersebut termasuk ke dalam elemen penyebab utama terjadinya hujan. Dalam memudahkan identifikasi variabel, nama variabel akan diganti Suhu Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin dan Curah Hujan.
3. Pembersihan Data (*Data Cleaning*)
   Di dalam data cuaca, terdapat data kosong, dan data tidak terukur yang dinyatakan dengan nilai 8888. Data tersebut akan diolah berdasarkan jenis datanya. Apabila data kosong atau tidak terukur pada semua variabelnya maka data akan dihapus. Hal ini dilakukan untuk mengurangi pembiasan data karena imputasi nilai kosong atau tidak terukur pada semua variabel. Untuk data kosong atau data tidak terukur pada sebagian variabel, masukkan nilai rata-rata dari hari sebelumnya dan berikutnya atau nilai urut antara nilai data sebelum data kosong atau tidak terukur dengan data setelah data kosong atau tidak terukur apabila data yang kosong lebih dari satu hari. Rumus penghitungan rata-rata hari sebelum dan sesudah dapat dilihat pada rumus 1 berikut ini :

$$Nilai\ Pengganti = \frac{Data\ hari\ sebelumnya + Data\ hari\ berikutnya}{2} \quad (1)$$

   Sedangkan rumus perhitungan nilai kosong antara data sebelum dan setelah urutan data kosong lebih dari satu menggunakan rumus 2 berikut ini :

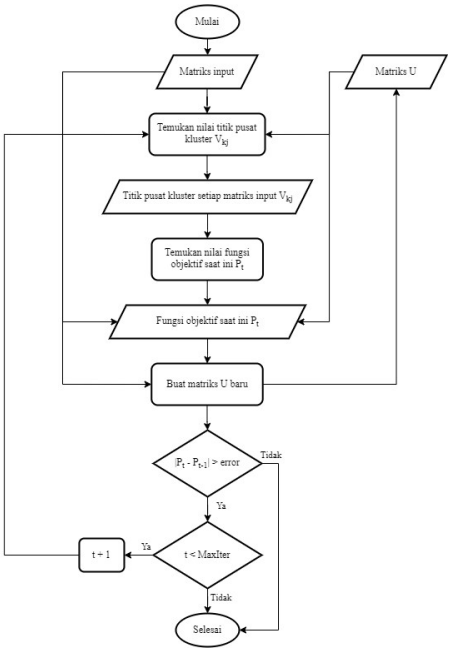
$$[U_1, U_2, \ldots, U_m] = Persentil\ ke - \frac{100}{m+1} \times n\ dari\ V_m \quad (2)$$

Keterangan :
U_m = Nilai pengganti data kosong ke-m
m = Jumlah data kosong antara nilai sebelum dan setelah data kosong
n = Iterasi proses pengisian data kosong
V_m = Urutan angka antara data sebelum dan setelah data kosong

Data cuaca yang telah dipraproses kemudian dibagi menjadi dua yaitu data cuaca tahun 2015 sampai 2019 yang digunakan dalam proses FCM dan data cuaca tahun 2020 yang digunakan dalam penghitungan akurasi prediksi cuaca.

2.3 Fungsi Keanggotaan FCM

Proses prediksi cuaca dimulai dengan menentukan fungsi keanggotaan setiap data variabel melalui proses *fuzzy c-means*. *Fuzzy C-Means* (FCM) adalah metode pengklasteran data yang ditentukan oleh derajat keanggotaan [6]. Tujuan dari FCM adalah mendapatkan pusat klaster yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui data yang masuk ke dalam sebuah klaster. Berikut ini adalah gambar 2 yang menunjukkan diagram proses FCM :



Gambar. 2. Proses *Fuzzy C-Means*

Berikut adalah langkah algoritma FCM dari gambar 2 diatas :
1. Masukkan data yang akan diklaster, berupa matriks X berukuran $n \times m$
2. Tentukan jumlah klaster (c), pangkat pembobot (w), maksimum iterasi (*MaxIter*), error terkecil (ε), fungsi objektif awal ($P_0 = 0$), dan iterasi awal ($t = 1$).
3. Bangkitkan bilangan acak (μ_{ik}), dengan i= 1, 2, …, n; k= 1, 2, …, n dan c sebagai elemen-elemen matriks partisi awal.
4. Hitung pusat klaster ke-k (V_{kj}) dengan k = 1, 2, … , c dan j = 1, 2, … , m pada persamaan 3 di bawah ini :

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^{n}((U_{ik})^w * X_{ik})}{\sum_{i=1}^{n}(U_{ik})^w} \quad (3)$$

Keterangan:

V_{kj} = Pusat cluster ke-*k* dan atribut ke-*j*

U_{ik} = derajat keanggotaan sampel data ke-*i* dan cluster ke-*k*

X_{ik} = data pada sampel ke-*i* dan atribut ke-*j*

5. Hitung fungsi objektif pada iterasi ke-*t*, untuk melihat jarak data ke-*i* terhadap pusat cluster dengan persamaan 4 di bawah ini :

$$P_t = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{c} \left(\left[\sum_{j=1}^{m} (X_{ik} - V_{kj})^2 \right] (U_{ik})^w \right) \quad (4)$$

6. Hitung perubahan matriks partisi dengan $i = 1,2, \dots, n$ dan $k = 1,2, \dots, c$ pada persamaan 5 di bawah ini :

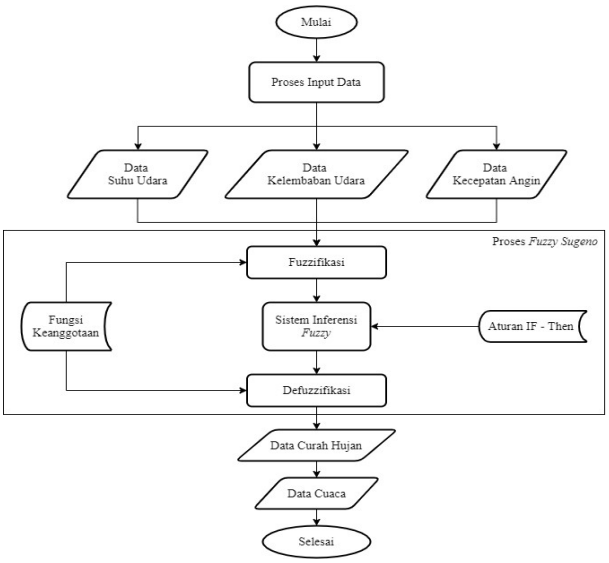
$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^{m} (X_{ik} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k-1}^{c} \left[\sum_{j=1}^{m} (X_{ik} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (5)$$

7. Cek kondisi berhenti:

   a. Jika $(|P_t - P_{t-1}|) > \varepsilon$ atau $t > MaxIter$, maka berhenti.
   b. Jika tidak : $t = t + 1$ dan ulangi langkah ke-4.

2.4 Prediksi Cuaca *Fuzzy Sugeno*

Metode yang dipakai dalam melakukan prediksi cuaca pada prediksi cuaca adalah *fuzzy sugeno*. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Sistem *fuzzy sugeno* memperbaiki kelemahan yang dimiliki oleh sistem *fuzzy* murni untuk menambah suatu perhitungan matematika sederhana sebagai bagian THEN. Pada perubahan ini, sistem fuzzy memiliki suatu nilai rata-rata tertimbang (*Weighted Average Values*) di dalam bagian aturan fuzzy IF-THEN [7]. Langkah *fuzzy sugeno* dapat dijelaskan pada gambar 3 di bawah ini :



Gambar. 3. Proses *Fuzzy Sugeno*

Dari gambar 4 diatas, langkah proses logika *fuzzy sugeno* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan *Rule* IF – Then

   Aturan IF – Then dibuat melalui informasi variabel input dan outputnya. Dari informasi tersebut dibuat aturan yang menjelaskan bagaimana prediksi dapat dilakukan kedepannya. Penentuan aturan sangat penting karena proses ini menentukan bagaimana proses prediksi berlangsung. Bila aturan yang dibuat tidak sesuai, maka hasil prediksi tidak akan sesuai. Berikut ini adalah tabel yang menjelaskan aturan IF – Then :

Tabel 2. Aturan IF – Then

Rule	**Suhu Udara**	**Kelembaban Udara**	**Kecepatan Angin**	**Hasil**
1	Rendah	Rendah	Rendah	Cerah/Berawan
2			Sedang	Cerah/Berawan
3			Kencang	Cerah/Berawan
4			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
5		Sedang	Rendah	Cerah/Berawan
6			Sedang	Cerah/Berawan
7			Kencang	Cerah/Berawan
8			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
9		Tinggi	Rendah	Hujan Ringan
10			Sedang	Hujan Sedang
11			Kencang	Hujan Lebat
12			Sangat Kencang	Hujan Sangat Lebat
13	Sedang	Rendah	Rendah	Cerah/Berawan
14			Sedang	Cerah/Berawan
15			Kencang	Cerah/Berawan
16			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
17		Sedang	Rendah	Cerah/Berawan
18			Sedang	Cerah/Berawan
19			Kencang	Cerah/Berawan
20			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
21		Tinggi	Rendah	Cerah/Berawan
22			Sedang	Cerah/Berawan
23			Kencang	Cerah/Berawan
24			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
25	Tinggi	Rendah	Rendah	Cerah/Berawan
26			Sedang	Cerah/Berawan
27			Kencang	Cerah/Berawan
28			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
29		Sedang	Rendah	Cerah/Berawan
30			Sedang	Cerah/Berawan
31			Kencang	Cerah/Berawan
32			Sangat Kencang	Cerah/Berawan
33		Tinggi	Rendah	Cerah/Berawan
34			Sedang	Cerah/Berawan
35			Kencang	Cerah/Berawan
36			Sangat Kencang	Cerah/Berawan

Tabel 2 diatas menjelaskan semua aturan IF – Then yang digunakan serta setiap variabel input yang dipakai yaitu Suhu Udara, Kelembaban Udara, dan Kecepatan Angin yang memiliki kategori yang berbeda dan menghasilkan antara lima kategori Cuaca yaitu Cerah/Berawan, Hujan Ringan, Hujan Sedang, Huan Lebat, atau Hujan Sangat Lebat..

2. Fuzzifikasi
   Pada proses ini, data input diterima dan dihitung nilai fungsi keanggotaannya. Dalam proses menemukan nilai fungsi keanggotaannya, dibuatlah berbagai grafik yang menjelaskan nilai-nilai numerik yang dipisahkan ke berbagai variabel linguistik. Setelah grafik telah selesai dibuat, ubah variabel numerik data masuk tersebut menjadi variabel linguistik yang sesuai.
3. Sistem Inferensi *Fuzzy*
   Proses inferensi *fuzzy* menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α-predikat ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_n$). Nilai α-predikat digunakan untuk menghitung nilai *real* dengan *weighted average* pada proses defuzzifikasi. Dalam proses ini, aturan IF – THEN yang telah dibuat di tahap pertama akan dipakai dalam proses inferensi yang sesuai dengan aturannya. Proses inferensi Sugeno sedikit berbeda dengan proses inferensi metode lainnya dimana nilai z tidak dipengaruhi oleh α-predikat.
4. Defuzzifikasi
   Dalam proses ini, data hasil inferensi akan diubah kembali dari nilai *fuzzy* menjadi nilai *real* (*crisp*). Menggunakan nilai α-predikat dan nilai hasil *rule* (z) dalam menemukan nilai *real* dengan metode *weighted average* dimana dicari total dari setiap α-predikat ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_n$) dikalikan dengan nilai hasil *rule* ($z_1, z_2, z_3, \ldots, z_n$) lalu dibagi dengan total nilai α-predikat. Metode tersebut menghasilkan output nilai rata-ratanya yang berupa nilai *real*. Dalam proses defuzzifikasi metode *fuzzy sugeno* digunakan rumus 6 berikut ini :

$$z = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3 + \cdots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \cdots + \alpha_n} \quad (6)$$

Keterangan :
z = *Weighted average* atau nilai rata-rata
α_n = Nilai predikat aturan ke-n
z_n = Indeks nilai input (konstanta) ke-n

2.5 Evaluasi

Pengukuran evaluasi dilakukan dengan pengujian akurasi untuk mengetahui seberapa akurat hasil prediksi cuaca menggunakan *fuzzy c-means* dan *fuzzy sugeno*. Pengujian akurasi dilakukan dengan metode *confusion matrix multi-class*. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan membandingkan data hasil prediksi *fuzzy* dengan data historis cuaca dari BMKG pada tahun 2020 dalam mendapatkan tingkat akurasi penelitian. Dalam mencari tingkat akurasi total, digunakan jumlah prediksi benar dengan model prediksi cuaca yang diusulkan dengan jumlah seluruh data cuaca. Rumus tingkat akurasi total dapat dilihat pada rumus 7 berikut ini :

$$Tingkat\ Akurasi\ Total = \frac{Jumlah\ prediksi\ benar}{Jumlah\ semua\ data} \times 100\% \quad (7)$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengolahan data cuaca dengan *data preprocessing*

Data cuaca yang akan digunakan pada penelitian harus diproses dengan *data processing* sebelum digunakan pada model prediksi cuaca. Data sumber diproses melalui aplikasi MATLAB Studio R2021a. Proses *data preprocessing* yang dilakukan pada data cuaca untuk FCM dan data cuaca untuk penghitungan akurasi prediksi memiliki langkah yang sama. Hasil akhir langkah *data preprocessing* adalan data cuaca dengan banyak variabel hasil proses reduksi data adalah 5 yaitu Tanggal, Suhu Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin, dan Curah Hujan yang dibagi menjadi dua yaitu data cuaca tahun 2015 – 2019 dengan jumlah 1796 data dan data cuaca tahun 2020 dengan jumlah 373 data. Melalui proses pembersihan data, banyak data yang dihapus adalah 31 data

dan banyak data yang diganti nilainya adalah 273 data. Berikut ini adalah tabel 3 yang menunjukkan hasil praproses data cuaca tahun 2020 :

Tabel 3. Perbandingan hasil model prediksi cuaca

Tanggal	Suhu_Udara	Kelembaban_Udara	Kecepatan_Angin	Curah_Hujan
01/01/2020 0:00	23,5	79	2	8
02/01/2020 0:00	23,8	77	2	4
03/01/2020 0:00	23	82	2	0
04/01/2020 0:00	22,2	87	2	11,6
05/01/2020 0:00	24,1	79	2	4
06/01/2020 0:00	23,4	77,5	2	0
07/01/2020 0:00	23,6	76	2	1,5
08/01/2020 0:00	25,4	67	2	0
09/01/2020 0:00	24,7	65	2	0
10/01/2020 0:00	24,9	65,5	2	0

3.2 Pembuatan fungsi keanggotaan input dengan FCM

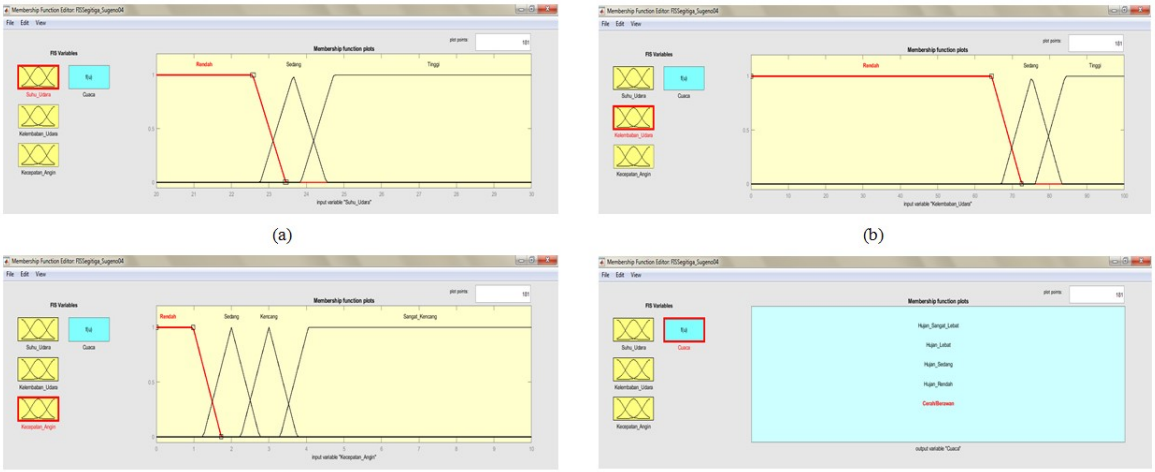
Dalam proses pembuatan fungsi keanggotaan, digunakan data cuaca BMKG pada tahun 2015 sampai 2019 hasil *data preprocessing* dengan jumlah data sebanyak 1796. Variabel yang digunakan adalah unsur cuaca yaitu suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Variabel tersebut akan diproses pada aplikasi MATLAB Studio R2021a dengan metode FCM. Dalam pembuatan grafik fungsi keanggotaan input, titik pusat kluster yang didapat dari hasil FCM digunakan sebagai nilai titik puncak kurva dan standar deviasi dari sumber data cuaca digunakan sebagai nilai jarak kaki kurva. Fungsi keanggotaan output didapatkan menurut ketentuan BMKG dalam kategori curah hujan pada situs https://www.bmkg.go.id/cuaca/probabilistik-curah-hujan.bmkg. Berikut ini adalah tabel 4 dan 5 serta gambar 4 yang menunjukkan hasil fungsi keanggotaan input dan output yang digunakan dalam penelitian ini :

Tabel 4. Fungsi keanggotaan variabel input

Variabel	Himpunan Fuzzy	Komponen	
		Standar Deviasi	Nilai
Suhu Udara (°C)	Rendah	0,88	22,57
	Sedang	0,88	23,65
	Tinggi	0,88	24,73
Kelembaban Udara (%)	Rendah	8,04	64,46
	Sedang	8,04	75,2
	Tinggi	8,04	84,18
Kecepatan Angin (m/s)	Rendah	0,75	0,98
	Sedang	0,75	2
	Kencang	0,75	3
	Sangat Kencang	0,75	4,05

Tabel 5. Fungsi keanggotaan variabel output

Variabel	Himpunan Fuzzy	Komponen
Curah Hujan (mm)	Cerah/Berawan	0 - 5
	Hujan Ringan	5 – 20
	Hujan Sedang	20 – 50
	Hujan Lebat	50 – 100
	Hujan Sangat Lebat	≥ 100



(a) (b) (c) (d)

Gambar. 4. (a) Grafik fungsi keanggotaan suhu udara, (b) Grafik fungsi keanggotaan kelembaban udara, (c) Grafik fungsi keanggotaan kecepatan angin, (d) Kategori fungsi keanggotaan prediksi cuaca

3.3 Prediksi cuaca dengan *fuzzy sugeno*

Dalam proses pembuatan fungsi keanggotaan, digunakan data cuaca BMKG pada tahun 2015 sampai 2019 hasil *data preprocessing* dengan jumlah data sebanyak 1796. Variabel yang digunakan adalah unsur cuaca yaitu suhu udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Variabel tersebut akan diproses pada aplikasi MATLAB Studio R2021a dengan metode FCM. Dalam menjelaskan proses perhitungan prediksi curah hujan dan cuaca dengan *fuzzy sugeno*, penulis melakukan penghitungan manual dengan variabel sebagai berikut :

Suhu Udara = 22,5 °C
Kelembaban Udara = 81,5 %
Kecepatan Angin = 1,8 m/s

Dalam mencari curah hujan, langkah pertama adalah menentukan nilai keanggotaan dari setiap variabel. Berikut ini adalah fungsi keanggotaan dari setiap variabel cuaca :

1. Fungsi keanggotaan suhu udara (22,5 °C)
   Nilai keanggotaan suhu udara untuk kategori rendah, sedang, dan tinggi dapat dilihat pada perhitungan 10, 11, dan 12 berikut ini :

$$\mu[rendah]\{1 ; x \leq 22{,}57 \quad (8)$$

$$\mu[sedang]\{0 ; x \leq 22{,}77 \quad (9)$$

$$\mu[tinggi]\{0 ; x \leq 23{,}85 \quad (10)$$

2. Fungsi keanggotaan kelembaban udara (81,5 %)
   Nilai keanggotaan kelembaban udara untuk kategori rendah, sedang, dan tinggi dapat dilihat pada perhitungan 11, 12, dan 13 berikut ini :

$$\mu[rendah]\{0 ; x > 81.5 \quad (11)$$

$$\mu[sedang]\{\frac{83{,}25 - x}{83{,}25 - 75{,}2} = \frac{83{,}25 - 81{,}5}{83{,}25 - 75{,}2} = 0.22 \quad (12)$$

$$\mu[tinggi]\{\frac{x - 76{,}13}{84{,}18 - 76{,}13} = \frac{81{,}5 - 76{,}13}{84{,}18 - 76{,}13} = 0{,}67 \quad (13)$$

3. Fungsi keanggotaan kecepatan angin (1,8 m/s)
Nilai keanggotaan suhu udara untuk kategori rendah, sedang, kencang, dan sangat kencang dapat dilihat pada perhitungan 14, 15, 16, dan 17 berikut ini :

$$\mu[rendah]\{0 ; x \geq 1{,}73 \quad (14)$$

$$\mu[sedang]\{\frac{x-1{,}25}{2-1{,}25} = \frac{1{,}8-1{,}25}{2-1{,}25} = 0{,}73 \quad (15)$$

$$\mu[kencang]\{0 ; x \leq 2{,}25 \quad (16)$$

$$\mu[sangat\ kencang]\{0 ; x \leq 3{,}3 \quad (17)$$

Setelah fungsi keanggotaan dibuat, lakukan proses inferensi fuzzy dengan menghitung nilai α-predikat dari setiap aturan IF – Then menggunakan fungsi implikasi MIN. Berikut ini adalah beberapa contoh proses implikasi MIN dari aturan IF – Then :
R1 : IF Suhu Udara = Rendah AND Kelembaban Udara = Rendah AND Kecepatan Angin = Rendah THEN Prediksi Cuaca = Cerah/Berawan
$\alpha_1 = \mu[rendah] \cap \mu[rendah] \cap \mu[rendah]$
$= \text{MIN}(\mu_{rendah}(22{,}5); \mu_{rendah}(81{,}5); \mu_{rendah}(1{,}8))$
$= \text{MIN}(1; 0; 0)$
= 0; Cerah/Berawan
R2 : IF Suhu Udara = Rendah AND Kelembaban Udara = Rendah AND Kecepatan Angin = Sedang THEN Prediksi Cuaca = Cerah/Berawan
$\alpha_5 = \mu[rendah] \cap \mu[rendah] \cap \mu[sedang]$
$= \text{MIN}(\mu_{rendah}(22{,}5); \mu_{rendah}(81{,}5); \mu_{sedang}(1{,}8))$
$= \text{MIN}(1; 0; 0{,}73)$
= 0; Cerah/Berawan

R3 : IF Suhu Udara = Rendah AND Kelembaban Udara = Rendah AND Kecepatan Angin = Tinggi THEN Prediksi Cuaca = Cerah/Berawan
$\alpha_6 = \mu[rendah] \cap \mu[rendah] \cap \mu[kencang]$
$= \text{MIN}(\mu_{rendah}(22{,}2); \mu_{rendah}(71); \mu_{kencang}(3{,}6))$
$= \text{MIN}(1; 0; 0)$
= 0; Cerah/Berawan
dan seterusnya.

Proses selanjutnya adalah defuzzifikasi dengan metode *weighted average*. Rumus defuzzifikasi dapat dilihat pada rumus 6 pada subbab 2.4. Berikut ini adalah perhitungan curah hujan :

$$z = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3 + \cdots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \cdots + \alpha_n}$$
$$= \frac{(0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0{,}19 \times 0) + \cdots + (0 \times 0)}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + \cdots + 0}$$
$$= \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 13{,}4 + \cdots + 0}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0{,}22 + 0 + 0 + 0 + 0{,}67 \ldots + 0}$$
$$= \frac{13{,}4}{0{,}89} = 15{,}06\ mm$$

Terakhir, cari hasil prediksi cuaca dari hasil prediksi curah hujan menggunakan kategori curah hujan berdasarkan ketentuan dari BMKG pada tabel 26 fungsi keanggotaan variabel output. Dari tabel tersebut, dapat ditemukan hasil prediksi cuaca dari curah hujan 15,06 mm adalah Hujan Ringan.

3.4 Evaluasi

Di bawah ini adalah tabel 6 yang menunjukkan beberapa hasil pengetesan akurasi dari proses prediksi cuaca dengan metode *fuzzy c-means* dan *fuzzy sugeno* dimana hasil cuaca prediksi dari model prediksi cuaca dibandingkan dengan cuaca dari sumber data cuaca BMKG :

Tabel 6. Data perbandingan model prediksi yang diusulkan dengan data cuaca BMKG

Tanggal	Suhu Udara	Kelembaban Udara	Kecepatan Angin	Curah Hujan		Kondisi Cuaca	
				BMKG	Model Prediksi	BMKG	Model Prediksi
01/01/2020	22,3	88	2	13,4	20	Hujan Ringan	Hujan Sedang
02/01/2020	23,6	84	3	2,2	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
03/01/2020	24,8	76	3	1,1	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
04/01/2020	24,4	78	4	0	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
05/01/2020	24,1	81	3	0	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
06/01/2020	24,4	77	2	0	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
07/01/2020	23,7	83	1	3	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
08/01/2020	23,8	82	4	0,3	0	Cerah/Berawan	Cerah/Berawan
09/01/2020	22,2	92	2	6	20	Hujan Ringan	Hujan Sedang
10/01/2020	23,4	78	3	10	0,97	Hujan Ringan	Cerah/Berawan

Di bawah ini, terdapat tabel 7 yang menjelaskan perbandingan data prediksi dengan data cuaca BMKG pada tabel *confusion matrix* serta tabel 8 yang menunjukkan detail akurasi dari setiap kategori cuaca :

Tabel 7. *Confusion matrix* model prediksi cuaca yang diusulkan

		Data Cuaca BMKG					
	Variabel	**Cerah/Berawan**	**Hujan Ringan**	**Hujan Sedang**	**Hujan Lebat**	**Hujan Sangat Lebat**	**Total Data Prediksi**
Data Prediksi	**Cerah/Berawan**	235	50	24	5	1	**315**
	Hujan Ringan	8	15	4	1	1	**29**
	Hujan Sedang	5	2	1	0	0	**8**
	Hujan Lebat	1	0	0	0	0	**1**
	Hujan Sangat Lebat	0	0	0	0	0	**0**
	Total Data BMKG	**249**	**67**	**29**	**6**	**2**	**353**
Jumlah prediksi benar		**251**					
Jumlah prediksi salah		**102**					
Jumlah semua data		**353**					
Tingkat Akurasi		**71,10 %**					

Tabel 8. Nilai akurasi dari setiap kategori pada model prediksi cuaca yang diusulkan

Variabel	Cerah/Berawan	Hujan Ringan	Hujan Sedang	Hujan Lebat	Hujan Sangat Lebat
Jumlah prediksi benar	235	15	1	0	0
Jumlah prediksi salah	14	52	28	6	2
Jumlah semua data	249	67	29	6	2
Persentase jumlah data kategori dari total semua data	70,54 %	18,98 %	8,22 %	1,70 %	0,57 %
Tingkat akurasi kategori	94,38 %	22,39 %	3,45 %	0 %	0 %

Pada tabel 7, dapat dilihat bahwa kategori cuaca Cerah/Berawan memiliki jumlah data prediksi benar lebih tinggi dari kategori cuaca lainnya dengan jumlah 235 data prediksi benar dari total 353 data cuaca dan pada tabel 8 kategori cuaca Cerah/Berawan memiliki persentase jumlah data dari total semua data sebesar 70,54 % serta tingkat akurasi tertinggi dengan nilai 94,38 % menyebabkan hasil prediksi cuaca pada kategori Cerah/Berawan lebih berpengaruh pada tingkat akurasi total dibandingkan dengan kategori cuaca lainnya. Berikut ini adalah hasil pengukuran tingkat akurasi model prediksi cuaca yang diusulkan menggunakan rumus 7:

$$Tingkat\ Akurasi = \frac{Jumlah\ prediksi\ benar}{Jumlah\ semua\ data} \times 100\%$$

$$= \frac{251}{353} \times 100\%$$

$$= 71{,}10\ \%$$

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini yang melakukan penelitian prediksi cuaca dengan *fuzzy c-means* (FCM) untuk membuat fungsi keanggotaan serta *fuzzy sugeno* dalam memprediksi cuaca menggunakan data cuaca BMKG Stasiun Geofisika Bandung yang dibagi menjadi data cuaca tahun 2015 sampai 2019 sebagai data sumber FCM dan data cuaca tahun 2020 sebagai data cuaca prediksi dapat disimpulkan bahwa tingkat akurasi data yang diperoleh dari model prediksi cuaca pada penelitian ini menghasilkan akurasi yang baik yaitu sebesar 71,10 % dengan jumlah data prediksi benar sebesar 251 dari total 353 data cuaca.

6 Saran

Penulis memberikan beberapa saran berdasarkan permasalahan yang terjadi serta dapat digunakan dalam menyempurnakan penelitian ini pada penelitian selanjutnya yaitu dengan menambahkan variabel input cuaca seperti tekanan udara, arah mata angin dan intensitas cahaya dalam meningkatkan akurasi prediksi serta menerapkan algoritma optimasi serta algoritma prediksi lainnya untuk mengetahui bagaimana hasil performa metode prediksi cuaca pada penelitian ini dibandingkan dengan metode prediksi yang lainnya.

Referensi

[1] "Atmosphere | National Geographic Society." https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/atmosphere/ (accessed Nov. 11, 2021).

[2] "BMKG Curhat Sulitnya Prediksi Cuaca di Indonesia." https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20200121171927-199-467403/bmkg-curhat-sulitnya-prediksi-cuaca-di-indonesia (accessed Oct. 11, 2021).

[3] B. Siswoyo and A. Zaenal, "Model Peramalan Fuzzy Logic," *JAMIKA*, vol. 8, no. 1, Apr. 2018, doi: https://doi.org/10.34010/jamika.v8i1.897.

[4] A. N. Azizah, J. Raharjo, and S. A. Wibowo, "Perkiraan Cuaca Berbasis Analisis Data Menggunakan Metode Coarse to Fine Search dan Fuzzy Logic Studi Kasus Cuaca Berpotensi Hujan," *eProceesing of Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 4712–4718, Aug. 2019.

[5] A. Hasan and M. A. Rahman, "A Study on Rainfall Calibration and Estimation at the Northern Part of Bangladesh by Using Mamdani Fuzzy Inference System," *Journal of Environment Protection and Sustainable Development*, vol. 5, no. 2, pp. 58–69, 2019, [Online]. Available: http://www.aiscience.org/journal/jepsdhttp://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

[6] F. A. Dewa and M. T. Jatipaningrum, "Segmentasi E-Commerce dengan Cluster K-Means dan Fuzzy C- Means (Studi Kasus: Media Sosial di Indonesia yang diunduh di Play Store)," *Jurnal Statistika Industri danKomputasi*, vol. 4, no. 1, pp. 53–67, Jan. 2019.

[7] S. Pinontoan, I. Alwiah Musdar, and Hasniati, "Perbandingan Metode Fuzzy Sugeno dengan Fuzzy Tsukamoto pada Sistem Prediksi Harga Smartphone Bekas Berbasis Android di Wilayah Makassar," *KHARISMA Tech*, vol. 14, no. 1, pp. 34–42, Apr. 2019.