

Implementasi Fuzzy Inference System (FIS) Tipe Mamdani dan Sugeno Untuk Prakiraan Cuaca Menggunakan Matlab

Implementation of Mamdani and Sugeno Type Fuzzy Inference System (FIS) for Weather Forecasting Using Matlab

Nurkholis Makhfudz¹, Eka Susilowati² & Riski Aspriyani³

¹²³Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap

¹nurkholisfudz21@gmail.com 1, eka250@gmail.com 2, rizky.asp@gmail.com 3

Corresponding author: nurkholisfudz21@gmail.com

History:

Abstrak. Prakiraan cuaca merupakan salah satu kajian yang sangat menarik untuk dilakukan. Data mengenai cuaca juga sangat dibutuhkan di berbagai bidang kehidupan, sehingga membuat penulis tertantang untuk meneliti metode yang paling akurat dalam memprakirakan cuaca. Salah satu teknik pemodelan prakiraan cuaca adalah Fuzzy Inference System (FIS), dan metode FIS ini merupakan metode yang menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi.. Metode FIS terbagi menjadi tiga tipe yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. Selain Teknik pemodelan, dalam memprakirakan cuaca juga harus memperhatikan beberapa fenomena yang berpengaruh terhadap cuaca, baik skala global, skala regional, atau skala lokal untuk parameter inputnya. Pada penelitian ini akan meneliti metode yang paling akurat antara metode FIS tipe Mamdani dan Sugeno dengan bantuan aplikasi MATLAB. Data diperoleh dari pihak BMKG Cilacap dan dari situs penyedia informasi parameter. Pada penelitian sebelumnya, parameter yang digunakan 5 saja, Sehingga data yang digunakan ada 6 sebagai parameter inputnya yaitu Enso, DMI, MJO, SST, Tekanan, dan Kelembaban yang diambil dari bulan Juli 2021 sampai Juli 2022. Dengan menggunakan metode dan parameter input tersebut diperoleh hasil bahwa prakiraan cuaca dengan metode FIS tipe Mamdani studi kasus BMKG Cilacap memiliki tingkat akurasi sebesar 80,87. Sedangkan untuk metode FIS tipe Sugeno menghasilkan tingkat akurasi sebesar 65,31%. Sehingga metode terbaik dalam memprakirakan cuaca studi kasus BMKG Cilacap adalah metode FIS tipe Mamdani

Kata kunci: Prakiraan Cuaca, Mamdani, Sugeno, Matlab.

Abstract. Weather forecasting is one of the most interesting studies to do. Weather data is also needed in various fields of life, thus making it challenging for writers to research the most accurate method of forecasting the weather. One of the weather forecasting modeling techniques is the Fuzzy Inference System (FIS), and this FIS method is a method that produces a high level of accuracy. the FIS method is the method that produces a higher level of accuracy. The FIS method is divided into three types, namely Mamdani, Sugeno, and Tsukamoto. In addition to modeling techniques, weather forecasting must also pay attention to several phenomena that affect the weather, either on a global scale, regional scale, or local scale for the input parameters. In this study, the most accurate method between the Mamdani and Sugeno FIS methods will be studied with the help of the MATLAB application.. The data was obtained from the Cilacap BMKG and the parameter information provider site. There are 6 data used as input parameters, namely Enso, DMI, MJO, SST, Pressure, and Humidity taken from July 2021 to July 2022. By using these methods and input parameters, the result is that the weather forecast using the FIS method, the Mamdani type, is a case study. BMKG Cilacap has an accuracy rate of 80,87. Meanwhile, the Sugeno-type FIS method produces an accuracy rate of 65,31%. So the best method for forecasting the weather for the Cilacap BMKG case study is the Mamdani FIS method..

Keywords: Weather Forecast, mamdani, Sugeno, Matlab

1 Pendahuluan

Informasi mengenai kondisi cuaca sangatlah penting diketahui lebih awal. Penelitian yang mengkaitkan dengan cara memperkirakan cuaca dapat dilakukan dengan fuzzy logic[1]. Fuzzy logic sekarang banyak dikembangkan dalam segala bidang. Fuzzy logic seringkali menjadi pilihan

terbaik karena mempunyai beberapa kelebihan, antara lain dapat menjembatani bahasa manusia yang cenderung tidak presisi dengan bahasa mesin yang cenderung presisi, karena fuzzy logic dibangun berdasarkan pada bahasa manusia. Penggunaan fuzzy logic lebih mudah dengan adanya bahasa pemrograman Matlab, yang dapat mensimulasikan suatu sistem fuzzy, dengan hasil analisis dapat berupa sinyal grafik pada fitur scope [2]

Metode dalam prakiraan cuaca sangat beragam tergantung pada ilmu pengetahuan dan teknologi lamapau dan kekinian, diantaranya adalah Teknik numerik [3]. Teknik pemodelan prakiraan cuaca antara lain adalah *multiple regression* dan *fuzzy inference system* (FIS) yang telah banyak digunakan dalam beberapa penelitian, dan dalam beberapa penelitian tersebut model FIS menghasilkan presentase keakuratan lebih tinggi dibandingkan dengan regresi [4]. Model FIS sendiri terbagi menjadi tiga tipe yaitu tipe Mamdani, tipe Sugeno dan tipe Tsukamoto [5].

Beberapa penelitian yang telah mengkaji permasalahan menggunakan metode FIS, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh [6] yang menganalisis perbandingan teknik Fuzzy Tsukamoto, Mamdani, serta Sugeno sebagai pengambilan keputusan penentuan jumlah distribusi raskin yang dimana hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknik Fuzzy Sugeno adalah yang terbaik dari ketiga teknik fuzzy tersebut., juga melakukan penelitian mengenai perbandingan logika Fuzzy Tsukamoto, Mamdani, serta Sugeno untuk memperkirakan jumlah pendaftaran mahasiswa baru Fakultas Sains Teknologi, dimana hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani paling efektif dari ketiga metode tersebut. [7] yang menunjukkan hasil bahwa Logika Fuzzy dengan metode Sugeno sangat baik digunakan dalam peramalan cuaca. Logika fuzzy tipe Mamdani sangat baik dipakai sebagai prakiraan cuaca karena akurasinya diatas 60%. Metode fuzzy sugeno memiliki kemampuan peramalan paling baik dibandingkan yang lain dengan nilai MAPE sebesar 10,634%.

Selain pemilihan metode yang tepat, dalam menentukan kondisi cuaca pemilihan parameter yang digunakan juga sangat berpengaruh terhadap 3 keakuratan hasil prediksi. Dalam memprakirakan cuaca juga harus memperhatikan beberapa fenomena yang berpengaruh terhadap cuaca, baik skala global, skala regional, atau skala lokal. Parameter yang bisa digunakan dalam memprediksi cuaca sangat banyak, semakin banyak parameter yang digunakan maka semakin akurat hasil prakiraannya. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh (Harmoko & Az, 2012) mengenai prototipe model prediksi peluang kejadian hujan menggunakan metode fuzzy logic tipe mamdani dan sugeno, dimana dalam penelitian tersebut menggunakan 5 parameter input dari 3 skala yaitu skala global, regional dan lokal untuk memprakirakan cuaca.

Selanjutnya, pemilihan metode yang tepat, dalam menentukan kondisi cuaca pemilihan parameter yang digunakan juga sangat berpengaruh terhadap keakuratan hasil prediksi. Dalam memprakirakan cuaca juga harus memperhatikan beberapa fenomena yang berpengaruh terhadap cuaca, baik skala global, skala regional, atau skala lokal. Berdasarkan pengamatan dan studi literatur, penulis memutuskan untuk meneliti metode FIS tipe mamdani dan sugeno untuk melakukan prakiraan cuaca studi kasus BMKG Cilacap dengan mengambil 6 parameter input dari 3 skala yaitu skala global, skala regional, dan skala lokal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat model prakiraan cuaca dengan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tipe Mamdani dan Sugeno studi kasus BMKG Cilacap, untuk melihat prototipe dari model prakiraan cuaca metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tipe Mamdani dan Sugeno dan untuk melihat prakiraan cuaca harian dengan menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tipe Mamdani dan Sugeno serta tingkat akurasinya.

2 Kajian Pustaka

Cuaca merupakan suatu keadaan atmosfer yang terjadi di tempat tertentu pada waktu tertentu atau pada waktu yang cukup singkat. Cuaca dan iklim merupakan dua kondisi yang hampir sama, hanya berbeda dalam kurun waktunya. Iklim merupakan keadaan atmosfer dalam wilayah yang luas dan jangka waktu yang sangat Panjang yaitu kurang lebih 30 tahun [8] berbeda dengan cuaca yang ditunjukan pada wilayah yang sempit dan kurun waktu yang cukup singkat. Cuaca itu terbentuk dari gabungan unsur cuaca dan jangka waktu cuaca bisa hanya beberapa jam saja. Sedangkan iklim terbentuk karena adanya revolusi dan rotasi bumi sehingga terjadi pergeseran semu harian matahari dan tahunan, serta karena adanya perbedaan lintang geografi dan

lingkungan fisis. Perbedaan ini menyebabkan timbulnya penyerapan panas matahari oleh bumi sehingga besar pengaruhnya terhadap kehidupan di bumi.

Peramalan (forecasting) merupakan penggunaan data untuk menguraikan kejadian yang akan datang dalam menentukan sasaran yang dikehendaki, sedangkan prediksi (prediction) adalah estimasi sasaran yang akan datang dengan tingkat kemungkinan terjadi besar dapat diterima [9]

Klasifikasi peramalan berdasarkan pendekatan umum, yaitu Peramalan Kualitatif, yang merupakan peramalan yang didasarkan atas data kualitatif pada masa lalu. Kemudian Peramalan Kuantitatif, yaitu peramalan yang didasarkan atas data kuantitatif pada masa lalu. Berdasarkan penggambaran umum, peramalan yang akan saya lakukan adalah peramalan kuantitatif, karena data yang akan saya gunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif pada masa lalu.

Permasalahan yang dihadapi dalam prakiraan cuaca antara lain kondisi atmosfer berubah-ubah tidak stabil, terjadinya fenomena atmosfer, kesalahan pengukuran, data yang terlalu besar, dan pemahaman yang kurang mengenai prakiraan cuaca. Data mengenai cuaca tersedia secara open akses sehingga memudahkan untuk mencari metode terbaik dalam prakiraan cuaca. Metode dalam prakiraan cuaca sangat beragam tergantung pada ilmu pengetahuan dan teknologi lamapau dan kekinian, diantaranya adalah Teknik numerik.[3]

Wilayah tropis dikenal sebagai wilayah dengan kondisi atmosfer yang relative homogen. Walaupun homogen, tetapi terdapat beberapa perbedaan dalam beberapa hal, misalnya daerah paling basah maupun daerah paling kering. Hal tersebut terjadi karena ada factor-faktor yang mempengaruhi cuaca, sehingga dalam melihat cuaca di Indonesia harus memperhatikan skala meteorologi yang terjadi.

Skala meteorologi yang mempengaruhi cuaca antara lain : skala global yaitu fenomena ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) dan DMI (*Dipole Mode Index*), Skala Regional yaitu SST (*Sea Surface Temperature*) dan fenomena MJO (*Madden Julian Oscillation*), serta skala local yaitu kelembapan udara (RH) dan Tekanan Udara.

Enso merupakan singkatan dari *El Nino Southern Oscillation*. Fenomena ENSO terdiri dari tiga fase yaitu El Nino, La Nina dan Netral. ENSO sendiri merupakan fenomena alam berupa fluktuasi suhu muka laut disekitar bagian tengah dan timur ekuator Samudera Pasifik yang berinteraksi dengan perubahan kondisi atmosfer diatasnya. Fluktuasi suhu muka laut tersebut kemudian akan menghasilkan episode El Nino, La Nina dan fase Netral yang berevolusi secara bergantian. Untuk mengetahui fenomena ENSO digunakan beberapa indeks, yaitu ONI (*Oceanic Nino Index*) dan SOI (*Southern Oscillation Index*). ONI didasarkan pada Suhu Permukaan laut (SPL) dari rata-rata di wilayah Nino 3.4, dan merupakan ukuran utama untuk memantau, menilai dan memprediksi ENSO. Sedangkan penentuan indeks SOI didasarkan pada perbedaan tekanan udara permukaan laut antara Tahiti dan Darwin.

Dipole Mode adalah sebutan populer dari *Indian Ocean Dipole*. Dipole mode disingkat DM merupakan fenomena yang mirip dengan ENSO tetapi terjadi di Samudera Hindia. Peristiwa dipole mode ditandai adanya perbedaan anomali suhu permukaan laut (SPL) antara Samudera Hindia tropis bagian barat (50 oE – 70 oE, 10 oS – 10 oN) dengan Samudera Hindia tropis bagian timur (90 oE – 110 oE, 10 oS – ekuator). Para ahli meteorologi berpendapat bahwa fenomena dipole mode merupakan hasil atau model interaksi antara atmosfer dan laut. Dipole mode dibagi menjadi DM(+) dan DM (-). DM(+):anomali SPL Samudera Hindia tropis bagian barat lebih besar daripada di bagian timurnya akibatnya terjadi peningkatan curah hujan dari normalnya di pantai timur Afrika dan Samudera Hindia bagian barat sedangkan di Benua Maritim Indonesia (BMI) mengalami penurunan curah hujan dari normalnya yang menyebabkan kekeringan. DM(-):Fenomena yang berlawanan dengan kondisi DM(+).

Madden Julian Oscillation merupakan elemen variabilitas intramusiman terbesar (30 hingga 90 hari) pada kondisi atmosfer tropis. MJO diketahui pada tahun 1971 oleh Roland Madden dan Paul Julian dari American National Center for Atmospheric Research (NCAR). Osilasi ini merupakan gabungan sirkulasi atmosfer dengan skala besar antara sirkulasi atmosfer dan konveksi dalam pada iklim tropis. Salah satu cara untuk mendeteksi MJO adalah dengan menganalisa fasenya menggunakan Diagram Hovmoller, pada umumnya siklus MJO di bagi menjadi 8 fase yakni : (1) Fase 1 di Afrika; (2) Fase 2 di Samudera Hindia bagian barat; (3) Fase 3 di Samudera Hindia bagian timur; (4) Fase 4 di Benua Maritim Indonesia; (5) Fase 5 di Benua Maritim Indonesia; (6) Fase 6 di Kawasan Pasifik Barat; (7) Fase 7 di Pasifik Tengah; (8) Fase 8 di daerah belahan bumi bagian barat dan Afrika. Pada fase 3,4,dan 5 mengindikasikan adanya potensi konvektif dalam skala besar di wilayah Indonesia, sehingga dapat berkontribusi cukup signifikan terhadap pembentukan awan dan hujan, terutama jika didukung dengan nilai intensitasnya yang cukup tinggi. Fase 3 dan 4 menunjukkan signifikansi fenomena MJO di wilayah Indonesia bagian

barat dan tengah, sedangkan fase 5 menunjukkan signifikansi MJO di wilayah Indonesia bagian timur.

Sea Surface Temperature disingkat SST adalah suhu perairan yang memiliki jarak dekat dengan permukaan lautan. Arti dari permukaan bisa berbeda, disesuaikan dengan metode pengukuran, tetapi ada di antaranya 1 milimeter dan 20 meter di bawah permukaan laut. Sea Surface Temperature merupakan salah satu parameter oseanografi yang penting. Sebaran SST dapat digunakan sebagai salah satu indikator penting terjadinya upwelling yaitu penaikan massa air laut dari suatu lapisan dalam ke lapisan permukaan sehingga suhu permukaan laut diperairan tersebut lebih dingin dibandingkan sekitarnya. Tingginya nilai SST di perairan Indonesia disebabkan oleh posisi geografi Indonesia yang terletak di wilayah ekuator yang merupakan daerah penerima panas matahari terbanyak.

Tekanan Udara ialah tekanan yang diberikan udara setiap satu satuan luas dalam bidang datar permukaan bumi sampai batas atmosfer. Tekanan udara dibatasi oleh ruang dan waktu, dalam waktu dan tempat yang berbeda maka tekanannya berbeda pula. Tekanan udara (atmosfer) merupakan salah satu parameter yang diamati oleh observer (pengamat cuaca) ketika melakukan pengamatan udara permukaan atau synoptic observation dan juga merupakan salah satu unsur cuaca terpenting yang dibutuhkan dalam memprediksi cuaca.

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di dalam udara. Jumlah uap air yang ada dalam udara ini sebenarnya hanya sebagian kecil dari seluruh atmosfer. Kira-kira sekitar 2 persen dari jumlah massa. Akan tetapi, uap air tersebut merupakan salah satu komponen udara yang sangat penting, ditinjau dari segi cuaca dan iklim. Uap air dalam atmosfer bisa berubah bentuk menjadi cair atau padat, yang pada akhirnya bisa jatuh ke bumi atau kita kenal sebagai hujan.

Logika fuzzy diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti di Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer. Professor Zadeh beranggapan logika benar salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia, kemudian dikembangkanlah logika fuzzy yang dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika fuzzy terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah. Sedangkan dalam logika fuzzy, keanggotaan elemen berada di interval $[0,1]$.

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ibrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk penelitian dibandingkan metode yang lain. Input dan output pada metode mamdani berupa himpunan fuzzy. Metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max sehingga metode Mamdani juga disebut dengan metode *MIN-MAX (min-max inferencing)*. Untuk mendapatkan output, dalam metode mamdani terdapat 4 tahapan yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan dasar, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

Berbeda dengan metode Mamdani, metode Sugeno juga menggunakan himpunan fuzzy pada inputnya. Akan tetapi, output yang digunakan pada metode Sugeno adalah konstanta atau persamaan linier. Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Takagi- Sugeno Kang pada tahun 1985. Jika pada metode Mamdani proses defuzzifikasi menggunakan agregasi daerah kurva, maka pada metode Sugeno agregasi berupa singleton-singleton. Sama halnya dengan metode mamdani, metode Sugeno juga terdapat 4 tahapan untuk memperoleh output yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan dasar, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

Tahap pengujian dilakukan untuk menguji apakah diagnosis yang dilakukan sudah sesuai atau belum. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menghitung keakurasian sistem. Keakurasian sistem didapat dari perbandingan antara hasil jumlah data yang sesuai dengan kenyataan dengan jumlah seluruh data. Secara matematis dapat dinyatakan dengan formula [10].

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah data benar}}{\text{Jumlah seluruh data}} \quad (1)$$

Kesalahan pada sistem didapat berdasarkan data masukan. Besar kesalahan dapat diketahui dengan cara:

$$\text{Kesalahan} = 100\% - \text{Akurasi} \quad (2)$$

Sistem fuzzy dengan tingkat keakurasian yang tinggi dianggap mampu mewakili diagnosis suatu permasalahan. Dalam hal ini, Kesamaan output model pada penelitian dengan pengamatan cuaca yang dilakukan oleh *observer*.

3 Metode

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Cilacap mengenai prakiraan cuaca adalah penelitian aplikatif. Dimana penelitian aplikatif merupakan jenis penelitian yang hasilnya bisa secara langsung diaplikasikan untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dan deskriptif. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan semua informasi yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Sedangkan pendekatan deskriptif kuantitatif dilakukan dengan menganalisa dan menyusun data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Pada Penelitian ini, metode yang diuji adalah metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tipe Mamdani dan Tipe Sugeno[6].

Penelitian ini menggunakan data sekunder, data sekunder merupakan data yang diperoleh dari buku-buku, hasil penelitian, jurnal-jurnal ataupun sarana-sarana lainnya yang biasa diambil dari instansi terkait. Metode yang dilakukan dalam penelitian kali ini termasuk dalam metode observasi yaitu dengan mengunduh dari situs penyedia informasi data parameter yang digunakan dan dari BMKG Cilacap. Jenis data yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah data kuantitatif untuk variabel input yaitu ENSO, DMI, MJO, SST, Tekanan, dan Kelembaban (RH).

Tempat penelitian dilaksanakan di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Cilacap yang berlokasi di Jl. Gatot Subroto No. 20, Tambaksari, Sidanegara, Cilacap Tengah, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53272 atau berada di Balai Besar Wilayah II. Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember 2021 – September 2022.

Dalam pembuatan laporan ini, pengumpulan data merupakan salah satu hal yang harus dilakukan guna mencapai tujuan penulisan. Metode yang dilakukan dalam penelitian kali ini termasuk dalam metode observasi yaitu dengan mengunduh dari situs penyedia informasi data parameter yang digunakan dan dari BMKG Cilacap, yaitu :

1. Data Enso
Diunduh dari <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>, berupa data bulanan.
2. Data DMI
Diunduh dari <http://www.bmkg.go.id>, berupa data bulanan.
3. Data MJO
Diunduh dari <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>, berupa data harian.
4. Data SST
Diunduh dari <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> berupa data mingguan.
5. Data Tekanan Udara
Didapat dari data synop yang tersedia di Stasiun Meteorologi Kelas III Tunggul Wulung Cilacap, berupa data harian.
6. Data RH
Didapat dari data synop yang tersedia di Stasiun Meteorologi Kelas III Tunggul Wulung Cilacap, berupa data harian.

Penelitian kali ini, data yang digunakan adalah data dalam kurun waktu enam bulan yaitu dari bulan Juli 2021 sampai dengan Juni 2022.

4 Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian kali ini ada 6 variabel input yang akan dimodelkan untuk prakiraan cuaca menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) tipe Mamdani dan Sugeno yaitu:

1. ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu El Nino, Netral, dan La Nina
2. DMI (*Dipole Mode Index*) terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu DM+, Normal, dan DM-
3. MJO (*Maden Julian Oscillation*) terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu Lemah, Sedang, dan Kuat.

4. SST (*Sea Surface Temperature*) terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu Dingin, Sedang, dan Hangat.
5. Tekanan Udara terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi.
6. RH terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi.

Sedangkan variable output berupa cuaca terdiri dari 4 himpunan *fuzzy*, yaitu Cerah – Berawan, Berawan – Hujan Ringan, Hujan Ringan – Hujan Sedang, Hujan Sedang – Hujan Lebat. Range dan kriteria dari setiap parameter input dan output diambil berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Harmoko & Az, 2012).

Tabel 2. Himpunan Fuzzy Variabel Input dan Output

Fungsi	Parameter	Kategori	Range	Kriteria
Input	Skala Global	ENSO	((-3) – (+3))	>+0.5
				-0.5 s.d +0.5
				<-0.5
		DMI	(-2 – (2))	>+0.4
				-0.4 s.d +0.4
				<-0.4
	Skala Regional	MJO	(1-8)	Fase 1,2,6,7,8
				Fase 3 dan 5
				Fase 4
		SST	(15 – 35)	<26
				26 s.d 28
				>28
	Skala Lokal	TEKANAN	(998 – 1016)	<1007
				1006 s.d 1009
				>1008
		RH	(0-100)	<60%
				60% s.d 80%
				>80%
Output		Cuaca	(0-10)	(0-2.6)
				(2.4-5.1)
				(4.9-7.6)
				(7.4-10)

Pengolahan data akan dilakukan menggunakan *software* Matlab R2020a dengan tools *fuzzy logic designer*. Dengan adanya fasilitas *toolbox fuzzy logic* yang berguna dalam membuat

sistem berbasis logika fuzzy yang memuat aturan-aturan berdasarkan keinginan pengguna. Berikut ini merupakan langkah dalam membuat program FIS tipe Mamdani pada Software MATLAB R2020a:

1. Mengetikan **Fuzzy** pada **command window**, setelah menekan enter akan muncul tampilan jendela FIS tipe Mamdani
2. Menambahkan jumlah input parameter yang diinginkan yaitu ENSO, DMI, MJO, SST, Tekanan Udara, dan RH serta output yaitu Cuaca pada FIS Editor. Kemudian menentukan metode *Defuzzifikasi* dan *Implikasi* yang akan digunakan, pada tipe Mamdani menggunakan metode *centroid* untuk *Defuzzifikasi* serta *min* untuk *Implikasinya*.
3. Fuzzifikasi yaitu menentukan Fungsi Keanggotaan setiap variabel input yang telah ditentukan yaitu ENSO, DMI, MJO, SST, Tekanan, dan RH serta variabel output yaitu Cuaca.
Setiap variabel input kecuali MJO mempunyai tiga kategori, masing-masing kategori menjadi sebuah *membership function* yang mempunyai tipe yang sama yaitu *trapmf* (Trapezium). Range dan kriteria yang digunakan setiap variabel berbeda, disesuaikan dengan Tabel 2. Untuk variabel input MJO mempunyai tiga kategori juga, masing-masing kategori menjadi *membership function* yang mempunyai tipe berbeda. Untuk kategori I menggunakan *zmf*, untuk kategori II menggunakan *gaussmf*, dan untuk kategori III menggunakan *smf*. Variabel output Cuaca memiliki empat kategori, yaitu Cerah – Berawan, Berawan – Hujan Ringan, Hujan Ringan – Hujan Sedang, dan Hujan Sedang – Hujan Lebat. Untuk Metode Mamdani masing-masing kategori menjadi sebuah *membership function* (MF) yang mempunyai tipe sama yaitu *trimf* (Segitiga) dengan range 0-10.
4. Pembentukan Aturan Dasar (*Rule Base*) dengan *Rule Editor* Metode Mamdani dan Sugeno Pada Software MATLAB 2020R.

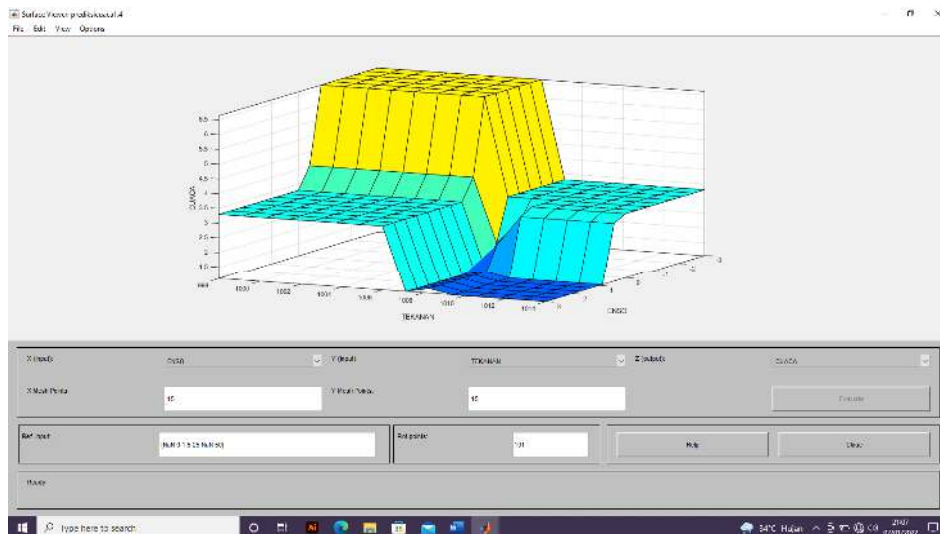
Penggunaan enam variabel input dengan masing-masing variabel mempunyai tiga MF, menggunakan formula n^i dimana nilai $n = 3$ dan $i = 6$, sehingga $3^6 = 729$ kombinasi. Maka akan dibuat *rule* sebanyak 729 buah dengan algoritma sebagai berikut :

01. If (ENSO is La Nina) and (DM is DM-) and (MJO is Kuat) and (SST is Hangat) and (TEKANAN is Rendah) and (RH is Tinggi) then (Cuaca is Hujan Lebat)
02. If (ENSO is La Nina) and (DM is DM-) and (MJO is Kuat) and (SST is Hangat) and (TEKANAN is Rendah) and (RH is Sedang) then (Cuaca is Hujan Lebat)
03. If (ENSO is La Nina) and (DM is DM-) and (MJO is Kuat) and (SST is Hangat) and (TEKANAN is Rendah) and (RH is Rendah) then (Cuaca is Hujan Lebat)
-
-
-
727. If (ENSO is El Nino) and (DM is DM+) and (MJO is Lemah) and (SST is Dingin) and (TEKANAN is Tinggi) and (RH is Tinggi) then (Cuaca is Berawan)
728. If (ENSO is El Nino) and (DM is DM+) and (MJO is Lemah) and (SST is Dingin) and (TEKANAN is Tinggi) and (RH is sedang) then (Cuaca is Berawan)
729. If (ENSO is El Nino) and (DM is DM+) and (MJO is Lemah) and (SST is Dingin) and (TEKANAN is Tinggi) and (RH is Rendah) then (Cuaca is Berawan)

Secara lengkap, seluruh algoritma dibuat dalam *Rule Editor* dengan menggunakan *operand and* dalam menentukan nilai prediksi.

Algoritma yang dibuat dalam rule editor bisa di visualisasikan dengan menggunakan Rule Viewer, dimana dengan mengubah nilai-nilai variabel input akan memperoleh nilai variabel output.

Gambar 9. Rule Viewer Pada Software Matlab R2020a



Selain bisa divisualisasikan dengan menggunakan *Rule Viewer*, algoritma yang sudah dibuat dalam *Rule Editor* juga bisa divisualisasikan dengan menggunakan *Surface Viewer*. Sehingga dapat diketahui tampilan dari hasil pemetaan semua variabel input ke variabel *output*.

Berikut ini merupakan langkah dalam membuat program FIS tipe Sugeno pada *Software MATLAB R2020a*:

1. Mengetikkan **Fuzzy** pada **command window**, setelah itu tekan enter akan muncul tampilan jendela FIS Editor dengan tipe mamdani seperti pada Gambar 4.2. Untuk memunculkan tampilan jendela FIS Editor dengan tipe sugeno tekan **file – New FIS – Sugeno**.
2. Menambahkan jumlah input parameter yang diinginkan yaitu ENSO, DMI, MJO, SST, Tekanan Udara, dan RH serta output yaitu Cuaca pada FIS Editor. Pada Tipe Sugeno juga menambahkan parameter input dan output yang diinginkan, yang membedakan hanya pada proses *defuzzifikasinya* yaitu menggunakan metode *weighted Average*.
3. Fuzzifikasi
Tahap Fuzzifikasi pada metode Sugeno sama dengan tahap fuzzifikasi Mamdani. Perbedaannya hanya terletak pada variable outputnya, dimana variable *output* untuk metode Sugeno masing-masing kategori menjadi sebuah *membership function* (MF) yang mempunyai tipe *constant*.
4. Pembentukan Aturan Dasar (*Rule Base*) dengan *Rule Editor* Metode Sugeno Pada *Software MATLAB 2020R*.

Sama dengan metode Sugeno yang menggunakan enam variabel input dengan masing-masing variabel mempunyai tiga MF, menggunakan formula n^i dimana nilai $n = 3$ dan $i = 6$, sehingga $3^6 = 729$ kombinasi. Maka akan dibuat *rule* sebanyak 729 buah. Secara lengkap, seluruh algoritma dibuat dalam Rule Editor dengan menggunakan *operand and* dalam menentukan nilai prediksi seperti pada Gambar 8.

Algoritma yang dibuat dalam *rule editor* bisa di visualisasikan dengan menggunakan *Rule Viewer*, dimana dengan mengubah nilai-nilai variabel input akan memperoleh nilai variabel *output* seperti pada Gambar 9.

Selain bisa divisualisasikan dengan menggunakan *Rule Viewer*, algoritma yang sudah dibuat dalam *Rule Editor* juga bisa divisualisasikan dengan menggunakan *Surface Viewer*. Sehingga dapat diketahui tampilan dari hasil pemetaan semua variabel input ke variabel output seperti pada Gambar 10

Tahap selanjutnya adalah mengintegrasikan FIS-file mamdani dan sugeno ke dalam sebuah *Graphic User Interface* untuk memudahkan bagi pengguna. Matlab menyediakan fasilitas dalam membuat *Graphic User Interface* (GUI). Tujuan dari pembuatan GUI adalah

untuk memudahkan pengguna dalam melakukan prakiraan cuaca dengan menentukan parameter input yang diinginkan. Dengan menggunakan Aplikasi GUI umumnya lebih mudah dioperasikan karena orang yang menjalankannya tidak perlu mengetahui perintah yang ada dan bagaimana kerjanya.

Gambar 12. *Prototype Prakiraan Cuaca Metode Mamdani dan Sugeno*

Tahap selanjutnya adalah memasukan variable input ke dalam prototype yang sudah dibuat dari bulan Juli 2021 – Juni 2022.

The image displays two screenshots of a GUI prototype for weather forecasting using Mamdani and Sugeno methods. The interface is divided into several sections:

- Skala Global:** Contains input fields for ENSO and DMI.
- Skala Lokal:** Contains input fields for TEKANAN and RH.
- Skala Regional:** Contains input fields for MJO and SST.
- Tipe Mamdani:** A dropdown menu for selecting the Mamdani inference type.
- Tipe Sugeno:** A dropdown menu for selecting the Sugeno inference type.
- Reset:** A button to reset the input fields.
- Close:** A button to close the application.
- Keterangan:** A section on the right providing detailed explanations for the input variables and their ranges.
 - ENSO:** El Nino ($>+0.5$), Netral ($-0.5 \leq 0.5$), La Nina (<-0.5).
 - DMI:** DM+ (>0.4), Normal ($-0.4 \leq 0.4$), DM- (<-0.4).
 - MJO:** 1 (Fase 1,2,6,7,8), 2 (Fase 3 & 5), 3 (Fase 4).
 - SST:** Dingin (<26), Sedang ($26 \leq 28$), Hangat (>28).
 - Tekanan:** Rendah (<1007), Sedang ($1006 \leq 1009$), Tinggi (>1009).
 - RH:** Rendah ($<60\%$), Sedang ($60\% \leq 80\%$), Tinggi ($>80\%$).

The bottom screenshot shows the GUI with the following values entered:

- ENSO: 0.5
- DMI: 0.6
- TEKANAN: 1009
- RH: 90
- MJO: 1
- SST: 25
- Tipe Mamdani: BERAHAN - HUJAN RINGAN
- Tipe Sugeno: CERAH - BERAHAN

Gambar 13. *Contoh Hasil Prortotype Prakiraan Cuaca Metode Mamdani dan Sugeno*

Setelah semua data variable input selama enam bulan telah dimasukan ke dalam program prakiraan cuaca dan didapatkan hasil prakiraan cuaca selama satu tahun. Setelah itu dilakukan analisis hasil data pengujian prakiraan cuaca dengan data aktual cuaca yang terjadi di Kabupaten Cilacap selama kurun satu tahun (Juli 2021 – Juni 2022).

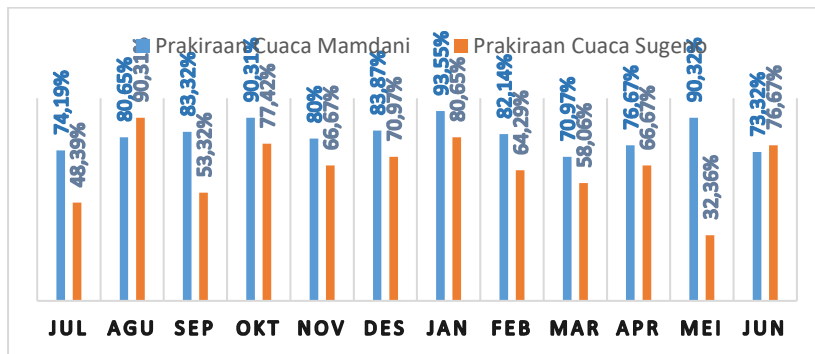
Berdasarkan hasil pengujian umlah keseluruhan data adalah sebanyak 366 data, untuk tipe Mamdani memiliki 296 data benar dan untuk tipe Sugeno memiliki 239 data benar. Nilai rata-rata akurasi dalam kurun waktu 1 tahun (Juli 2021 – Juni 2022) untuk tipe Mamdani sebesar 80,87% dengan kesalahan 19,13%, sedangkan untuk tipe Sugeno sebesar 65,31% dengan kesalahan 34,69%.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Harmoko & Az, 2012) yang menggunakan 5 parameter input dari 3 skala, penelitian yang dilakukan oleh penulis memiliki kelebihan, baik itu tipe Mamdani maupun tipe Sugeno. Dimana dari hasil pengujian yang telah dilakukan, prakiraan cuaca dengan metode FIS tipe Mamdani dan tipe Sugeno menggunakan 6 parameter dari 3 sakala mempunyai tingkat akurasi lebih besar yaitu 80,87% untuk tipe Mamdani dan 65,31% untuk tipe Sugeno, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Harmoko & Az, 2012) mempunyai tingkat akurasi 80,32% untuk tipe Mamdani dan 45,67% untuk tipe Sugeno. Berikut ini rangkuman hasil pengujian prakiraan cuaca dengan metode FIS tipe Mamdani dan Sugeno yang ditunjukkan pada Tabel 3.

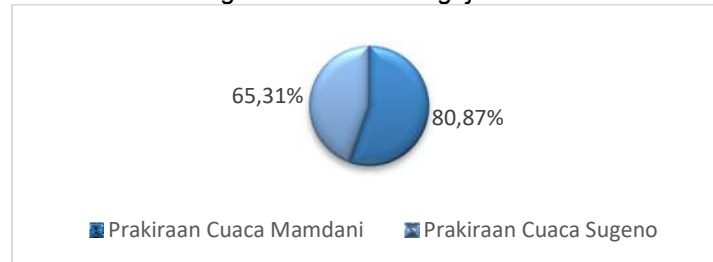
Tabel 3. *Rangkuaman Hasil Pengujian Prakiraan Cuaca Metode FIS*

Tahun	Bulan	Prakiraan Cuaca					
		Mamdani			Sugeno		
		Data Benar	Data Salah	Akurasi	Data benar	Data Salah	Akurasi
2021	Juli	23	8	74,19%	15	16	48,39%
	Agustus	25	6	80,65%	28	3	90,31%
	September	25	5	83,32%	16	14	53,32%
	Oktober	28	3	90,31%	24	7	77,42%
	November	24	6	80%	20	10	66,67%
	Desember	26	5	83,87%	22	9	70,97%
2022	Januari	29	2	93,55%	25	6	80,65%
	Februari	23	5	82,14%	18	10	64,29%
	Maret	22	9	70,97%	18	13	58,06%
	April	23	7	76,67%	20	10	66,67%
	Mei	25	6	90,32%	10	21	32,36%
	Juni	22	8	73,32%	23	7	76,67%
Jumlah		296	70	80,67%	239	127	65,51%

Berikutnya diberikan rangkuman hasil pengujian prakiraan cuacanya:



Gambar 16. Rangkuman Hasil Pengujian Prakiraan Cuaca



Gambar 17. Prosentase Akurasi Prakiraan Cuaca Metode Mamdani dan Sugeno

5 Kesimpulan

Penerapan Metode *Fuzzy Inference System* (FIS) Tipe Mamdani dan Sugeno untuk model prakiraan cuaca menggunakan *software* MATLAB yaitu dengan menambahkan semua variabel *input* dan *output* pada FIS Editor – fuzzifikasi – pembentukan *Rule Base*.

Prototype dari Model Prakiraan Cuaca ini dirancang menggunakan *tools Graphic User Interface* (GUI) pada *software* MATLAB dengan mengintegrasikan FIS-file yang telah dibuat. Dengan adanya prototype ini sangat memudahkan bagi penggunaanya, karena untuk mengoperasikannya tidak perlu mengetahui perintah yang ada dan bagaimana cara kerjanya.

Prakiraan cuaca ini dilakukan dengan memasukan variabel input pada kolom yang telah disediakan (Skala Global, Skala Regional, dan Skala Lokal), kemudian menekan tombol “Tipe Mamdani” untuk metode FIS tipe Mamdani dan tombol “Tipe Sugeno” untuk metode FIS tipe Sugeno), maka akan keluar hasil prakiraan cuacanya. Berdasarkan hasil pengujian prakiraan cuaca dengan metode FIS tipe Mamdani dikatakan handal, karena memiliki tingkat akurasi lebih

dari 70% yaitu 80,87%. Sedangkan untuk FIS tipe Sugeno kurang handal, karena tingkat akurasi kurang dari 70% yaitu 65,31%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode terbaik dalam memprakirakan cuaca dengan studi kasus di BMKG Cilacap adalah menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) tipe Mamdani. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dengan menggunakan 6 parameter input dari 3 skala memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Harmoko dan Az pada tahun 2012 yang menggunakan 5 parameter input dari 3 skala, baik itu tipe Mamdani atau tipe Sugeno.

Referensi.

- [1] A. C. Mutia, A. F. Sundoro, A. Yajiddin, M. Khoirullah, and Q. Aini, "REVIEW PENERAPAN FUZZY LOGIC SUGENO DAN MAMDANI PADA SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PRAKIRAAN CUACA DI INDONESIA," in *Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia*, 2017, no. November.
- [2] H. D. Putra, M. K. Kelviandy, and B. E. Putera, "Penerapan Kontrol Fuzzy Logic Berbasis Matlab Pada Perangkat Mesin Cuci," *J. Multinetics*, vol. 4, no. 2, pp. 7–14, 2018.
- [3] T. Jung and M. Matsueda, "Verification of global numerical weather forecasting systems in polar regions using TIGGE data," *Q. J. R. Meteorological Soc.*, no. January, pp. 574–582, 2016, doi: 10.1002/qj.2437.
- [4] I. W. Harmoko and N. Az, "Prototipe Model Prediksi Peluang Kejadian Hujan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Tipe Mamdani dan Sugeno," *TICOM*, vol. 1, no. 1, pp. 59–69, 2012.
- [5] A. Hadinegoro, "FUZZY MAMDANI DAN FUZZY TSUKAMOTO UNTUK KESESUAIAN PREDIKSI PEMBERIAN KELAYAKAN PINJAMAN (STUDI KASUS : SENTRA GADAI) Abstraksi Metode Fuzzy Mamdani Metode Fuzzy Tsukamoto," *Inf. Syst. J.*, vol. 3, no. 2, 2020.
- [6] S. Widaningsih, "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto , Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub . Divisi Regional (Divre) Cianjur," *J. Inform. dan Manaj.*, vol. 11, no. 1, pp. 51–65, 2017.
- [7] E. S. Puspita and L. Yulianti, "PERANCANGAN SISTEM PERAMALAN CUACA BERBASIS LOGIKA FUZZY," *J. Media Infotama*, vol. 12, no. 1, 2016.
- [8] J. Riadi, "APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN MULTI LAYER PERCEPTRON PADA APLIKASI PRAKIRAAN CUACA," *J. Poros Tek.*, no. 1, 2009.
- [9] K. Z. Anggriana, "Analisis perencanaan dan pengendalian persediaan busbar berdasarkan sistem mrp (material requirement planning) di pt. tis," *J. Pasti*, vol. IX, no. 3, pp. 320–337, 2015.
- [10] L. S. Amijaya, A. Ramdani, and I. W. Merta, "Effect of Guided Inquiry Learning Model Towards Student Learning Outcomes and Critical Thinking Ability," *J. Pijar MIPA*, vol. 13, no. 2, pp. 94–99, 2018, doi: 10.29303/jpm.v13.i2.468.
- [11] W. Kusumaningsih, Darhim, T. Herman, and Turmudi, "Improvement algebraic thinking ability using multiple representation strategy on realistic mathematics education," *J. Math. Educ.*, vol. 9, no. 2, pp. 281–290, 2018, doi: 10.22342/jme.9.2.5404.281-290.