

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metodologi yang digunakan untuk memprediksi tingkat polusi udara pada Kota Bandung kemudian mengoptimasinya dengan menggunakan kombinasi dua metode, yaitu *fuzzy time series* dan algoritma genetika. Langkah penyelesaian dimulai dengan mengidentifikasi masalah, kemudian membentuk parameter kualitas udara dengan *fuzzy Mamdani*, mengonstruksi dan mengoptimasi himpunan serta perlakuan proses algoritma genetika, dan diakhiri dengan proses peramalan menggunakan metode *fuzzy time series*.

3.1 Identifikasi Masalah

Penelitian ini membahas peramalan tingkat polusi udara pada Kota Bandung dengan mengaplikasikan metode *hybrid*, yaitu algoritma genetika dan *fuzzy time series*. Seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan nitrogen dioksida (NO_2). Peramalan tingkat polusi udara dilakukan agar masyarakat mengetahui bagaimana kualitas udara di tempat tinggal masing-masing, berupaya dalam pengendalian pencemaran udara, dan sebagai antisipasi atau peringatan untuk lebih waspada terhadap kesehatan pernapasan.

Penelitian ini memerlukan penggunaan logika *fuzzy* dengan *fuzzy Mamdani* karena kualitas udara ditentukan oleh beberapa parameter sehingga kategori peramalan kualitas udara bersifat relatif atau tidak pasti. *Fuzzy time series* mempunyai kemampuan penalaran yang memungkinkannya untuk merepresentasikan masalah dalam bentuk basis pengetahuan. Hal ini sangat berguna dalam menyelesaikan masalah dengan data yang kurang presisi, tidak lengkap, dan memiliki tingkat kebenaran yang parsial (Hasudungan dkk., 2016). Penggunaan metode *fuzzy time series* melibatkan himpunan *fuzzy* sebagai suatu kelas bilangan dengan batasan yang tidak pasti atau samar sehingga peramalan dilakukan dengan nilai linguistik. Untuk mendapatkan hasil dengan tingkat akurasi

yang tinggi diperlukan metode lain yang memiliki kemampuan *learning*, seperti algoritma genetika, yaitu metode yang meniru evolusi makhluk hidup.

3.2 Jenis dan Sumber Data

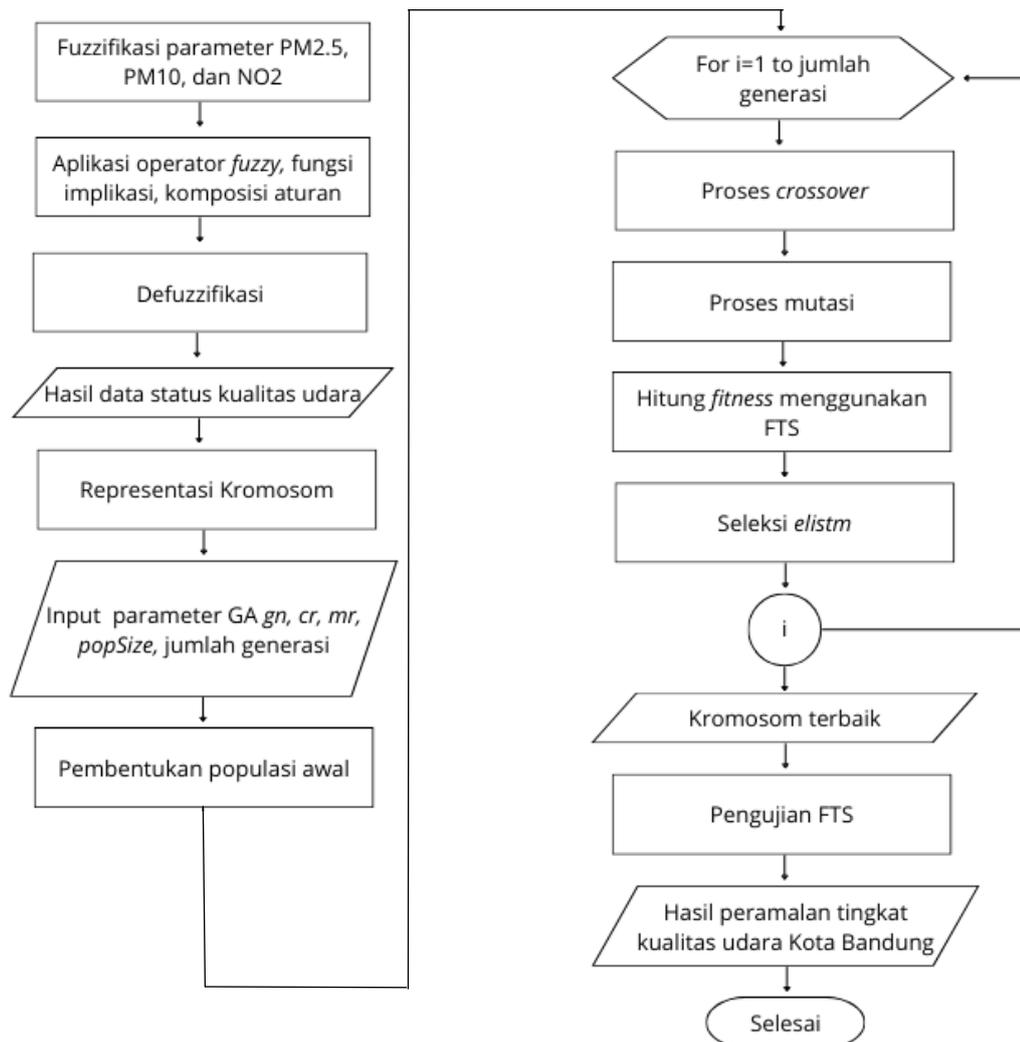
Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan nitrogen dioksida (NO_2) yang diambil melalui aplikasi *Plume Labs*, yaitu aplikasi yang memberikan informasi tentang tingkat kualitas polutan udara dan grafik yang menunjukkan sejarah dan prakiraannya. Aplikasi *Plume Labs* memberikan data yang valid atau dapat dipercaya karena aplikasi tersebut menggunakan data yang berasal dari 12.000 stasiun pengawasan lingkungan yang tersebar di 60 negara. Aplikasi tersebut juga menggunakan teknik *cross-validation* untuk menguji sistem pemetaan sehingga sistem mereka sudah melalui prosedur validasi yang ketat untuk memastikan keakuratan. Selain itu, aplikasi ini sudah diunggah oleh 100 ribu pengguna dan diakuisisi oleh AccuWeather, perusahaan yang menyediakan layanan prakiraan cuaca komersial di seluruh dunia, yang biasanya sudah terpasang aplikasinya secara otomatis di *android*. Informasi polutan udara yang tersedia pada aplikasi tersebut diantaranya $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , dan O_3 . Sumber data informasi tersebut berasal dari stasiun pemantau kualitas udara. Data yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu data latih dan data uji dengan perbandingan 80:20. Tujuan membagi data tersebut adalah untuk memastikan hasil peramalan yang dihasilkan tersebut baik untuk kedua jenis data.

3.3 Tahapan Analisis Data

Pada penelitian ini dilakukan dua tahapan metode, yaitu *fuzzy Mamdani* dan metode *hybrid* algoritma genetika-*fuzzy time series*. Pada metode *fuzzy Mamdani*, dilakukan pengolahan data parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan NO_2 untuk menghasilkan data parameter kualitas udara. Selanjutnya, pada metode *hybrid* algoritma genetika-*fuzzy time series*, dilakukan peramalan kualitas udara berdasarkan data parameter yang telah diolah sebelumnya. Algoritma genetika digunakan untuk mengoptimalkan pemilihan individu terbaik melalui proses *crossover*, mutasi, dan seleksi yang kemudian digunakan dalam *fuzzy time series* untuk menghasilkan peramalan yang lebih akurat. Berikut adalah rincian tahapannya.

1. Melakukan studi literatur.
2. Mengumpulkan data parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan NO_2 .
3. Melakukan tahapan *fuzzy* Mamdani
 - a. Melakukan fuzzifikasi pada masing-masing parameter dengan menggunakan persamaan (2.1) hingga (2.5), dengan keterangan bahwa domain pada fungsi keanggotaan merupakan rentang kategori yang dibuat.
 - b. Mengaplikasikan operator *fuzzy* menggunakan operator *and* kemudian mengaplikasikan fungsi implikasi dengan fungsi minimum.
 - c. Mengomposisikan aturan dengan metode komposisi yang dipakai pada logika *fuzzy* metode Mamdani adalah metode *max*.
 - d. Melakukan defuzzifikasi menggunakan metode *centroid*, merupakan pembagian antara momen dan luas daerah.
4. Melakukan tahapan metode *hybrid* algoritma genetika-*fuzzy time series*
 - a. Menentukan himpunan semesta menggunakan persamaan (2.9) dan subhimpunan dari hasil defuzzifikasi dengan terlebih dahulu menentukan jumlah subhimpunan menggunakan persamaan (2.10).
 - b. Menentukan parameter algoritma genetika.
 - c. Merepresentasikan kromosom dengan bentuk *value encoding*.
 - d. Membentuk populasi dengan membangkitkan nilai *random* yang berada dalam interval himpunan semesta.
 - e. Melakukan proses *crossover* dengan metode *crossover* satu titik dilanjutkan dengan proses mutasi.
 - f. Melakukan proses seleksi dengan metode seleksi *elitism* kemudian melakukan evaluasi nilai *fitness* dengan nilai terbaik akan dipilih sebagai *parent* pada generasi selanjutnya. Berikut adalah tahapan seleksi yang dilakukan.
 - Menentukan himpunan semesta dan subhimpunan berdasarkan data populasi yang terpilih pada proses algoritma genetika.
 - Membentuk himpunan *fuzzy* dengan rentang himpunan *fuzzy* dihitung menggunakan persamaan (2.11).
 - Melakukan fuzzifikasi dengan melihat pada nilai maksimum pada nilai keanggotaan.

- Melakukan *fuzzy logical relationship* (FLR) dan *fuzzy logical relationship group* (FLRG).
- Melakukan proses defuzzifikasi dengan menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13).
- Melakukan peramalan dari hasil defuzzifikasi berdasarkan *fuzzy logical relationship* (FLR) kemudian menghitung nilai error menggunakan *mean absolute percentage error* (MAPE).



Gambar 3.1 *Flowchart* Analisis Data

Berikut ini disajikan *flowchart* analisis data yang mengilustrasikan langkah-langkah yang diterapkan dalam proses analisis data pada penelitian ini. *Flowchart* dibuat dengan tujuan untuk memberikan gambaran yang jelas tentang urutan

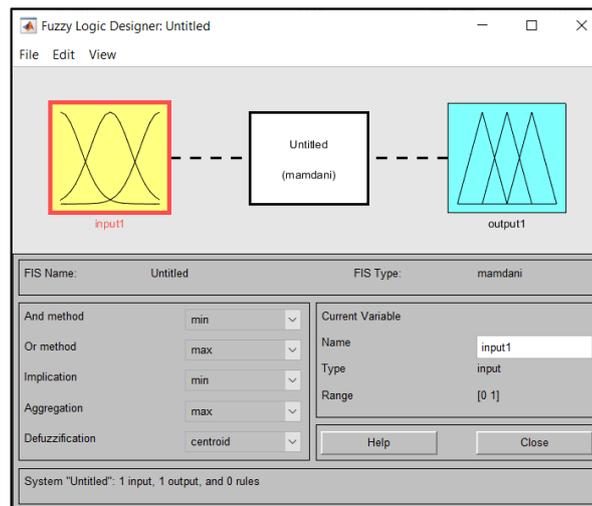
langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis data sehingga lebih sistematis dan mendalam.

3.4 Program *Fuzzy Mamdani*

Akan ditunjukkan tahapan-tahapan dalam mengolah data *input* yang berupa nilai-nilai parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan NO_2 , sehingga diperoleh nilai kualitas udara untuk masing-masing tanggal menggunakan *software* Matlab R2021a.

3.4.1 Pembentukan Himpunan *Fuzzy* dan Fungsi Keanggotaannya

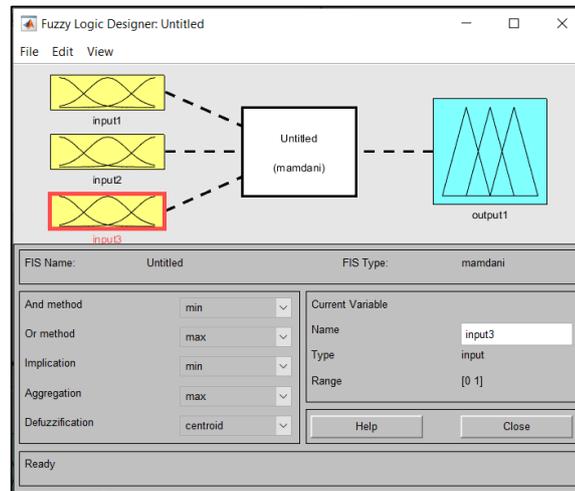
Pembentukan himpunan *fuzzy* dan fungsi keanggotaannya dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Matlab R2021a yang dibuat oleh penulis. Buka *software* Matlab R2021a, lalu ketikkan '*fuzzy*' pada *command window* kemudian tekan tombol '*enter*', akan terbuka jendela *FIS Editor* seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Jendela Awal *FIS Editor*

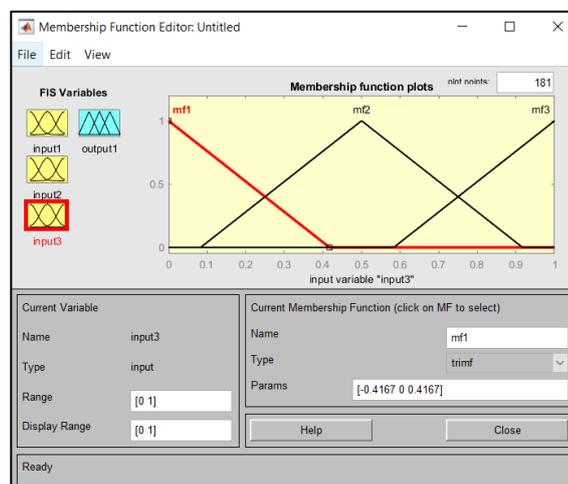
Pada jendela awal *FIS Editor*, metode FIS bawaan yang digunakan oleh Matlab R2021a adalah metode Mamdani. Oleh karena itu jenis metode tidak perlu diubah karena sudah sesuai dengan metode yang digunakan pada penelitian ini. Pada kotak sebelah kiri bagian bawah dapat dilihat bahwa ketentuan-ketentuan dalam langkah-langkah yang ada dalam metode Mamdani pun sudah sesuai dengan teori pada 2.9. Variabel *input* dan *output* yang diberikan pada jendela awal ini masing-masing berjumlah satu, yang selanjutnya bisa diedit sesuai dengan keperluan. Langkah yang dilakukan untuk menambahkan variabel yaitu klik tab

'Edit' kemudian pilih 'Add Variable', pilih 'input' sampai variabel *input* berjumlah tiga yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Jendela FIS Editor setelah Ditambahkan Variabel *Input*

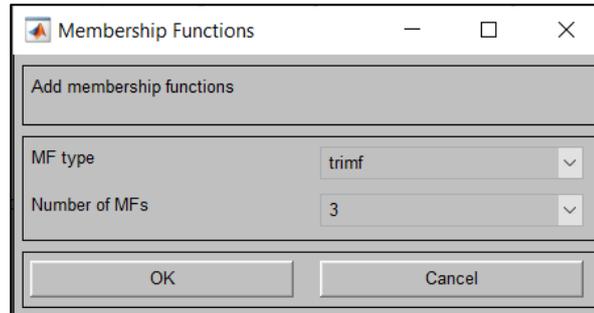
Tahap selanjutnya adalah mengedit fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel. Langkahnya yaitu klik tab 'Edit' kemudian pilih 'Membership Functions' lalu akan terbuka jendela awal *Membership Functions Editor* seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Jendela Awal *Membership Functions Editor*

Pada jendela *Membership Functions Editor*, interval dari masing-masing fungsi keanggotaan dan masing-masing variabel dapat diubah dengan cara mengubah angka pada kotak 'Range' dan 'Params'. Selanjutnya bentuk fungsi keanggotaan yang akan dipakai pada penelitian ini adalah kurva trapesium karena menyesuaikan dengan kategori Indeks Standar Kualitas Udara (ISPU) yang

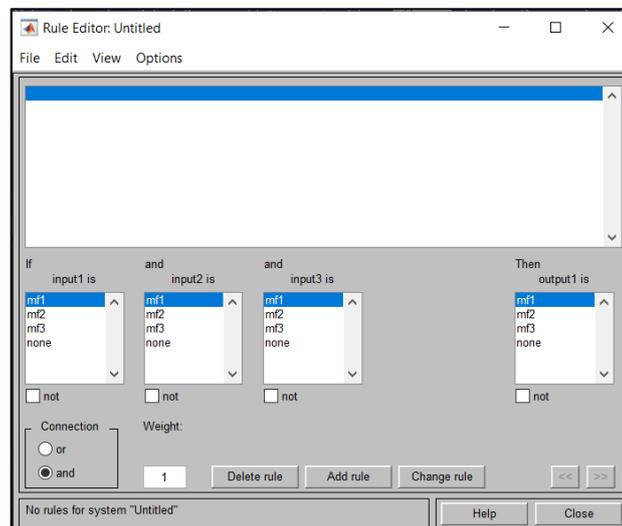
disampaikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Untuk menambahkan fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel, klik tab ‘*Edit*’ kemudian pilih ‘*Add MFs*’ lalu akan terbuka jendela *Membership Functions* untuk menambahkan fungsi keanggotaan dan mengubah tipe fungsi keanggotaan seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Jendela *Membership Functions*

3.4.2 Input Aturan-aturan *Fuzzy*

Setelah terbentuk himpunan *fuzzy* beserta masing-masing fungsi keanggotaannya, tahap selanjutnya adalah memasukkan aturan-aturan *fuzzy* yang telah dibentuk dengan cara klik tab ‘*Edit*’ jendela *FIS Editor* kemudian pilih ‘*Rules*’ lalu akan terbuka jendela *Rule Editor* untuk menambahkan aturan-aturan *fuzzy* seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



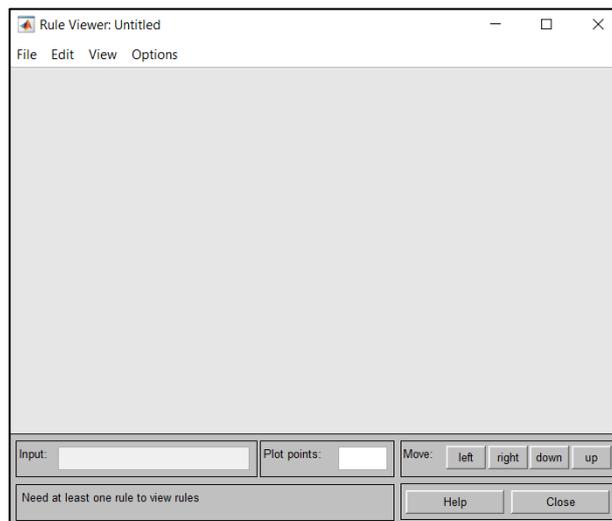
Gambar 3.6 Jendela *Rule Editor*

Pada jendela *Rule Editor*, terdapat pembentukan aturan-aturan relasi *fuzzy* dengan tipe koneksi yang akan digunakan yaitu ‘*and*’ karena operasi himpunan *fuzzy* berkaitan dengan operasi pemotong. Tahapan ini merupakan tahapan

pengaplikasian operasi *fuzzy*. Untuk menambahkan aturan, klik ‘*Add rule*’ dan ‘*Delete rule*’ untuk menghapus aturan.

3.4.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dilakukan untuk memperoleh suatu nilai yang merepresentasikan *output*. Untuk melakukannya, klik tab ‘*View*’ pada jendela *FIS Editor*, pilih ‘*Rule Viewer*’ seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Jendela Awal *Rule Viewer*

Pada jendela awal *Rule Viewer*, tampilan jendela terlihat kosong karena aturan-aturan *fuzzy* belum ditambahkan. Pada tahapan ini, terjadi proses pengaplikasian fungsi implikasi, komposisi aturan, hingga defuzzifikasi dengan ketentuan yang sudah otomatis seperti pada teori 2.9. Untuk mengetahui hasil perhitungan nilai *output* yang dicari, *edit* kotak ‘*Input*’ dengan menambahkan data dari masing-masing variabel *input*, lalu klik ‘*enter*’ maka nilai *output* akan terlihat pada tampilan yang sebelumnya kosong.

3.5 Penyelesaian Peramalan Kualitas Udara dengan Algoritma Genetika dan *Fuzzy Time Series*

3.5.1 Algoritma Genetika

1. Inisialisasi Parameter

Algoritma genetika bekerja dengan bergantung pada beberapa nilai parameter yang harus ditetapkan di awal proses, yaitu:

1. Ukuran populasi

Parameter ini menentukan jumlah individu (kromosom) yang ada dalam setiap generasi di dalam populasi

2. *Crossover rate*

Parameter ini menentukan seberapa besar kemungkinan proses *crossover* terjadi antara dua individu (kromosom) terpilih dalam populasi.

3. *Mutation rate*

Parameter ini menentukan seberapa besar kemungkinan proses mutasi terjadi pada setiap gen individu dalam populasi.

4. Jumlah generasi

Parameter ini menentukan jumlah siklus evolusi yang dijalankan oleh algoritma genetika sebelum berhenti.

2. Representasi Kromosom

Kromosom pada penelitian ini adalah representasi dari nilai-nilai data historis kualitas udara yang diinisialisasi secara acak tetapi berada dalam rentang data historis kualitas udara. Berdasarkan teori pada 2.12.1, kromosom akan ditulis dengan menggunakan pengodean *value encoding*, yaitu berupa bilangan bulat dan akan diurutkan dari nilai yang terkecil hingga terbesar, dari penulisan di sisi kiri hingga sisi kanan. Kromosom ini yang akan digunakan dalam proses algoritma genetika untuk membuat peramalan dan dioptimalkan melalui proses *crossover*, mutasi, dan seleksi untuk meningkatkan akurasi peramalan kualitas udara.

3. Pembentukan Populasi

Pada tahapan ini populasi terbentuk dari kumpulan kromosom dengan jumlah kromosom sesuai dengan parameter ukuran populasi.

4. *Crossover*

Penelitian ini melakukan proses tahapan *crossover* dengan metode *crossover* satu titik. Seperti pada teori 2.12.3, metode tersebut dilakukan dengan cara memilih satu titik potong tertentu, selanjutnya untuk *offspring* pertama, nilai gen sampai titik potong *crossover*-nya dari induk pertama digunakan dan sisanya dilanjutkan dengan nilai gen dari induk kedua. Untuk *offspring* kedua,

nilai gen sampai titik potong *crossover*-nya dari induk kedua dan sisanya dilanjutkan dengan nilai gen dari induk pertama.

5. Mutasi

Proses mutasi dilakukan dengan memilih nilai *random* untuk dijadikan titik gen yang mengalami mutasi. Gen terpilih tersebut akan dihapus dan digantikan dengan gen baru yang bernilai *random* antara nilai gen sebelum dan sesudah dari gen yang terpilih.

6. Seleksi

Selanjutnya pada tahapan ini penelitian dilakukan dengan menggunakan metode seleksi *elitism*. Seperti yang dijelaskan pada teori 2.12.6, metode tersebut dilakukan dengan cara menggabungkan kromosom induk dan kromosom tambahan kemudian mengurutkannya berdasarkan nilai *fitness*. Individu terbaik dengan nilai *fitness* terbesar pada setiap generasinya akan dipertahankan pada generasi selanjutnya.

3.5.2 Fuzzy Time Series

1. Fuzzifikasi

Langkah pertama yang dilakukan yaitu membentuk himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan berbentuk kurva segitiga karena kurva tersebut memiliki transisi yang halus, yaitu nilai yang dekat dengan batas antar himpunan tidak langsung berpindah secara drastis dari satu himpunan ke himpunan lain tetapi memiliki sebagian keanggotaan dalam kedua himpunan sehingga lebih menangkap ketidakpastian dalam data. Terdapat rentang nilai untuk masing-masing himpunan yang dihitung berdasarkan persamaan 2.11. Selanjutnya adalah tahapan fuzzifikasi atau memetakan data historis kualitas udara ke dalam derajat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* kemudian mengambil nilai keanggotaan maksimum.

2. Fuzzy Logical Relationship (FLR)

Pada tahapan ini dicari relasi atau hubungan antara data $F(t-1)$ dengan data $F(t)$ yang dinotasikan dengan " $F(t-1) \rightarrow F(t)$ ".

3. Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG)

Berdasarkan hasil FLR, dibuat kelompok relasi atau *Fuzzy Logical Relationship Group* (FLRG) dari himpunan *fuzzy* yang sama pada sisi kiri, seperti pada teori 2.13.5.

4. Defuzzifikasi dan Peramalan

Proses defuzzifikasi adalah proses mengubah himpunan *fuzzy* ke dalam nilai tegas dengan menggunakan aturan-aturan yang tercantum pada teori 2.13.6. Dengan ketentuan bahwa nilai tengah yang dipakai adalah nilai tengah yang dihasilkan oleh subhimpunan yang terbentuk dari individu terbaik. Setelah mendapatkan nilai hasil defuzzifikasi, dilakukan proses peramalan dengan ketentuan bahwa hasil defuzzifikasi pada data $F(t-1)$ menjadi hasil peramalan data $F(t)$.

3.6 Ilustrasi Kasus Sederhana

3.6.1 Fuzzifikasi

Berikut adalah data parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan NO_2 selama 6 hari berturut-turut yang mana tanggal 1-5 November digunakan sebagai data latih dan tanggal 6 November digunakan sebagai data uji.

Tabel 3.1 Data Pemisalan Parameter $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan NO_2

Tanggal	$PM_{2.5}$	PM_{10}	NO_2
1 November	23	24	27
2 November	99	85	45
3 November	100	102	125
4 November	61	25	99
5 November	46	50	66
6 November	99	99	120

1. $PM_{2.5}$

Berdasarkan data, peneliti membaginya menjadi tiga himpunan *fuzzy*, yaitu baik (B), sedang (S), dan tidak sehat (TS) sebagai contoh karena menyesuaikan dengan nilai konsentrasi parameter $PM_{2.5}$. Fungsi keanggotaan yang dipilih adalah kurva trapesium karena disesuaikan dengan kategori ISPU dari KLHK yaitu terdapat beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan 1. Misalkan x

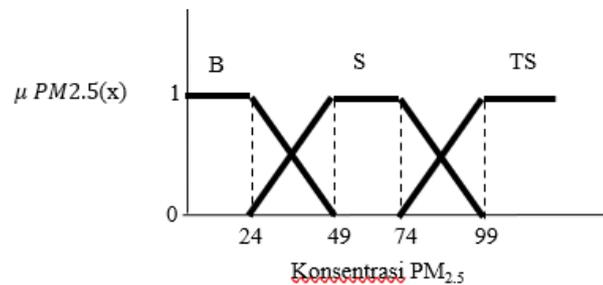
adalah konsentrasi $PM_{2.5}$, maka x adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *input* $PM_{2.5}$ dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

$$\mu_{PM_{2.5}_B} = \begin{cases} 1 & ; \quad x \leq 24 \\ \frac{(49 - x)}{(49 - 24)} & ; \quad 24 < x < 49 \\ 0 & ; \quad x \geq 49 \end{cases}$$

$$\mu_{PM_{2.5}_S} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 24 \text{ atau } x \geq 99 \\ \frac{(x - 24)}{(49 - 24)} & ; \quad 24 < x < 49 \\ 1 & ; \quad 49 \leq x \leq 74 \\ \frac{(99 - x)}{(99 - 74)} & ; \quad 74 < x < 99 \end{cases}$$

$$\mu_{PM_{2.5}_{TS}} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 74 \\ \frac{(x - 74)}{(99 - 74)} & ; \quad 74 < x < 99 \\ 1 & ; \quad x \geq 99 \end{cases}$$

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* $PM_{2.5}$ adalah sebagai berikut.



Gambar 3.8 Kurva Fungsi Keanggotaan $PM_{2.5}$

2. PM_{10}

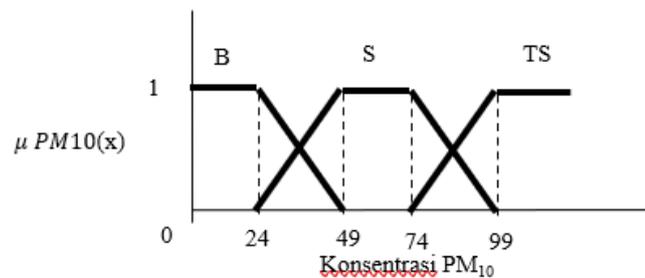
Berdasarkan data, peneliti membaginya menjadi tiga himpunan *fuzzy*, yaitu baik (B), sedang (S), dan tidak sehat (TS) karena sebagai contoh karena menyesuaikan dengan nilai konsentrasi parameter PM_{10} . Fungsi keanggotaan yang dipilih adalah kurva trapesium karena disesuaikan dengan kategori ISPU dari KLHK yaitu terdapat beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan 1. Misalkan x adalah konsentrasi PM_{10} , maka x adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *input* PM_{10} dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

$$\mu_{PM_{10}_B} = \begin{cases} 1 & ; \quad x \leq 24 \\ \frac{(49 - x)}{(49 - 24)} & ; \quad 24 < x < 49 \\ 0 & ; \quad x \geq 49 \end{cases}$$

$$\mu_{PM10_S} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 24 \text{ atau } x \geq 99 \\ \frac{(x - 24)}{(49 - 24)} & ; \quad 24 < x < 49 \\ 1 & ; \quad 49 \leq x \leq 74 \\ \frac{(99 - x)}{(99 - 74)} & ; \quad 74 < x < 99 \end{cases}$$

$$\mu_{PM10_TS} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 74 \\ \frac{(x - 74)}{(99 - 74)} & ; \quad 74 < x < 99 \\ 1 & ; \quad x \geq 99 \end{cases}$$

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* PM₁₀ adalah sebagai berikut.



Gambar 3.9 Kurva Fungsi Keanggotaan PM₁₀

3. NO₂

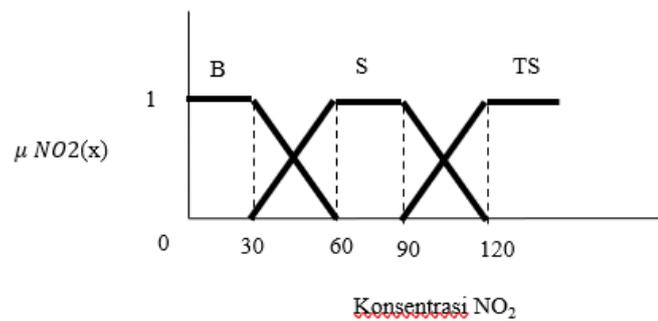
Berdasarkan data, peneliti membaginya menjadi tiga himpunan *fuzzy*, yaitu baik (B), sedang (S), dan tidak sehat (TS) karena sebagai contoh karena menyesuaikan dengan nilai konsentrasi parameter NO₂. Fungsi keanggotaan yang dipilih adalah kurva trapesium karena disesuaikan dengan kategori ISPU dari KLHK yaitu terdapat beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan 1. Misalkan x adalah konsentrasi NO₂, maka x adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *input* NO₂ dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

$$\mu_{NO2_B} = \begin{cases} 1 & ; \quad x \leq 30 \\ \frac{(60 - x)}{(60 - 30)} & ; \quad 30 < x < 60 \\ 0 & ; \quad x \geq 60 \end{cases}$$

$$\mu_{NO2_S} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 30 \text{ atau } x \geq 120 \\ \frac{(x - 30)}{(60 - 30)} & ; \quad 30 < x < 60 \\ 1 & ; \quad 60 \leq x \leq 90 \\ \frac{(99 - x)}{(99 - 74)} & ; \quad 90 < x < 120 \end{cases}$$

$$\mu_{NO_2_{TS}} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 90 \\ \frac{(x - 90)}{(120 - 90)} & ; \quad 90 < x < 120 \\ 1 & ; \quad x \geq 120 \end{cases}$$

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* NO₂ adalah sebagai berikut.



Gambar 3.10 Kurva Fungsi Keanggotaan NO₂

4. Kualitas Udara

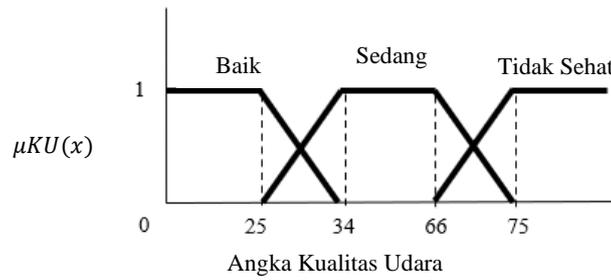
Peneliti membagi variabel *output* kualitas udara menjadi tiga himpunan *fuzzy*, yaitu baik (B), sedang (S), dan tidak sehat (TS) dengan domain 0 sampai dengan 100. Hal tersebut dilakukan untuk memudahkan penulis dalam perhitungan. Misalkan x adalah angka kualitas udara, maka x adalah anggota himpunan *fuzzy* dari variabel *output* kualitas udara dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut.

$$\mu_{KU_B} = \begin{cases} 1 & ; \quad x \leq 25 \\ \frac{(34 - x)}{(34 - 25)} & ; \quad 25 < x < 34 \\ 0 & ; \quad x \geq 34 \end{cases}$$

$$\mu_{KU_S} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 25 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{(x - 25)}{(34 - 25)} & ; \quad 25 < x < 34 \\ 1 & ; \quad 34 \leq x \leq 66 \\ \frac{(75 - x)}{(75 - 66)} & ; \quad 66 < x < 75 \end{cases}$$

$$\mu_{KU_{TS}} = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 66 \\ \frac{(x - 66)}{(75 - 66)} & ; \quad 66 < x < 75 \\ 1 & ; \quad x \geq 75 \end{cases}$$

Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *output* kualitas udara adalah sebagai berikut.



Gambar 3.11 Kurva Fungsi Keanggotaan Kualitas Udara

3.6.2 Aplikasi Operator *Fuzzy*

Peneliti mengaplikasikan operator *and* karena bersesuaian dengan aturan *fuzzy* yang akan dibuat. Operator *and* dipakai untuk mengiris himpunan-himpunan *fuzzy* sehingga didapatkan aturan logika *fuzzy* sebagai berikut.

Tabel 3.2 Aturan-aturan Logika *Fuzzy*

Aturan	Konsentrasi PM _{2.5}	Konsentrasi PM10	Konsentrasi NO ₂	Kualitas Udara
R1	baik	baik	baik	Baik
R2	Baik	sedang	Baik	Baik
R3	Baik	Tidak sehat	baik	Baik
R4	baik	Tidak sehat	baik	Sedang
R5	baik	baik	sedang	Baik
R6	baik	sedang	sedang	Baik
R7	baik	sedang	sedang	Sedang
R8	baik	Tidak sehat	sedang	Sedang
R9	baik	baik	Tidak sehat	Baik
R10	baik	baik	Tidak sehat	Sedang
R11	baik	sedang	Tidak sehat	Sedang
R12	baik	Tidak sehat	Tidak sehat	Sedang
R13	baik	Tidak sehat	Tidak sehat	Tidak sehat
R14	sedang	baik	baik	Baik
R15	sedang	sedang	baik	Baik
R16	sedang	sedang	baik	sedang
R17	sedang	Tidak sehat	baik	Sedang

R18	Sedang	Tidak sehat	baik	Tidak sehat
R19	sedang	baik	Sedang	Baik
R20	sedang	baik	sedang	Sedang
R21	sedang	sedang	sedang	Sedang
R22	sedang	sedang	Sedang	Tidak sehat
R23	sedang	Tidak sehat	Sedang	Sedang
R24	sedang	Tidak sehat	sedang	Tidak sehat
R25	sedang	baik	Tidak sehat	sedang
R26	sedang	baik	Tidak sehat	Tidak sehat
R27	sedang	sedang	Tidak sehat	sedang
R28	sedang	sedang	Tidak sehat	Tidak sehat
R29	sedang	Tidak sehat	Tidak sehat	Sedang
R30	sedang	Tidak sehat	Tidak sehat	Tidak sehat
R31	Tidak sehat	baik	baik	Baik
R32	Tidak sehat	baik	baik	sedang
R33	Tidak sehat	sedang	baik	Sedang
R34	Tidak sehat	sedang	baik	Tidak sehat
R35	Tidak sehat	Tidak sehat	baik	Sedang
R36	Tidak sehat	Tidak sehat	baik	Tidak sehat
R37	Tidak sehat	baik	sedang	Sedang
R38	Tidak sehat	baik	sedang	Tidak sehat
R39	Tidak sehat	sedang	Sedang	Sedang
R40	Tidak sehat	sedang	Sedang	Tidak sehat
R41	Tidak sehat	Tidak sehat	sedang	Sedang
R42	Tidak sehat	Tidak sehat	sedang	Tidak sehat
R43	Tidak sehat	baik	Tidak sehat	Sedang
R44	Tidak sehat	baik	Tidak sehat	Tidak sehat
R45	Tidak sehat	sedang	Tidak sehat	Sedang
R46	Tidak sehat	sedang	Tidak sehat	Tidak sehat
R47	Tidak sehat	Tidak sehat	Tidak sehat	Tidak sehat

3.6.3 Aplikasi Fungsi Implikasi

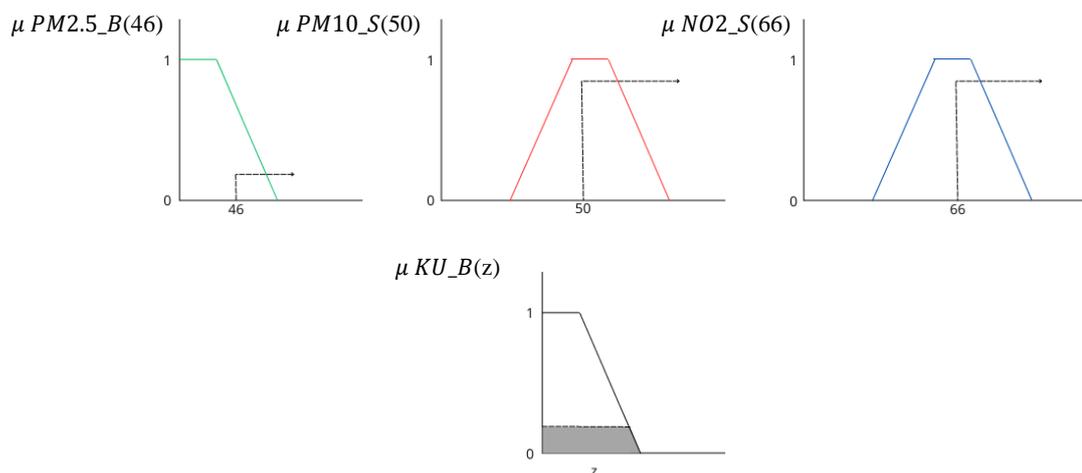
Fungsi implikasi merupakan suatu fungsi berupa aturan yang akan menampilkan kombinasi variabel-variabel *input* seperti konsentrasi $PM_{2.5}$, konsentrasi PM_{10} , dan konsentrasi NO_2 serta variabel *output* berupa kualitas udara dengan pernyataan *IF-THEN*. Pada fungsi ini, *output* himpunan *fuzzy* akan dipotong. Sebagai contoh ambil aturan R6, R7, R21, dan R22 pada tabel 3.2 Misalkan untuk tanggal 5 November, diambil data konsentrasi $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan NO_2 berturut-turut yaitu 46, 50, dan 66 maka:

[R6] *If* $PM_{2.5}$ Baik *and* PM_{10} Sedang *and* NO_2 Sedang *then* Kualitas Udara Baik

$$\alpha - \text{predikat}_1 = \mu_{KU_B}(z)$$

$$= \min(\mu_{PM_{2.5}_B}(46), \mu_{PM_{10}_S}(50), \mu_{NO_{2}_S}(66)) \quad c$$

$$= \min(0,12; 1; 1) = 0,12$$



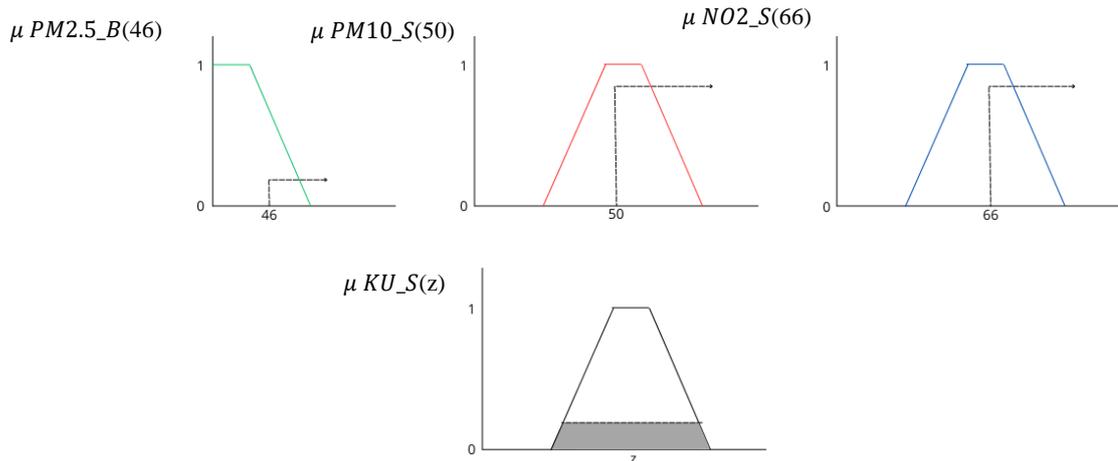
Gambar 3.12 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R6]

[R7] *If* $PM_{2.5}$ Baik *and* PM_{10} Sedang *and* NO_2 Sedang *then* Kualitas Udara Sedang

$$\alpha - \text{predikat}_2 = \mu_{KU_S}(z)$$

$$= \min(\mu_{PM_{2.5}_B}(46), \mu_{PM_{10}_S}(50), \mu_{NO_{2}_S}(66))$$

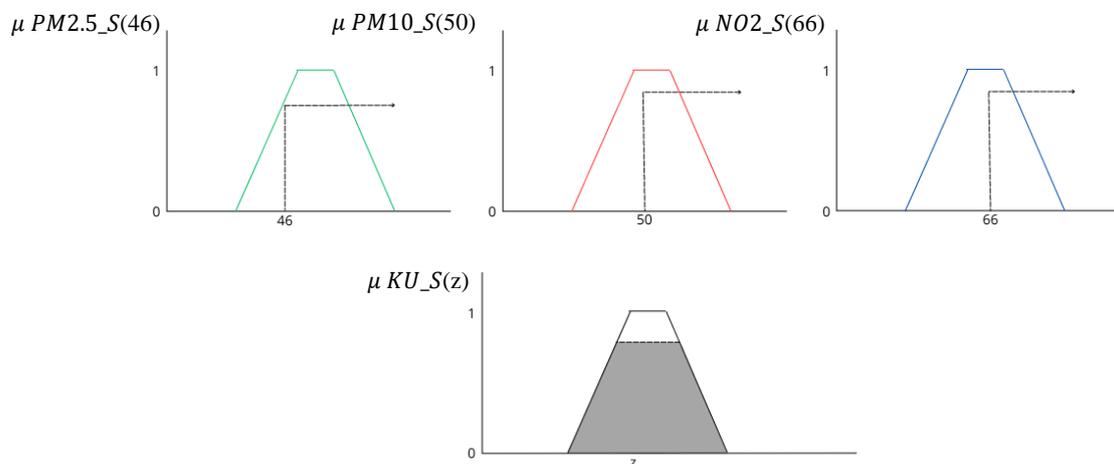
$$= \min(0,12; 1; 1) = 0,12$$



Gambar 3.13 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R7]

[R21] *If PM_{2.5} Sedang and PM₁₀ Sedang and NO₂ Sedang then Kualitas Udara Sedang*

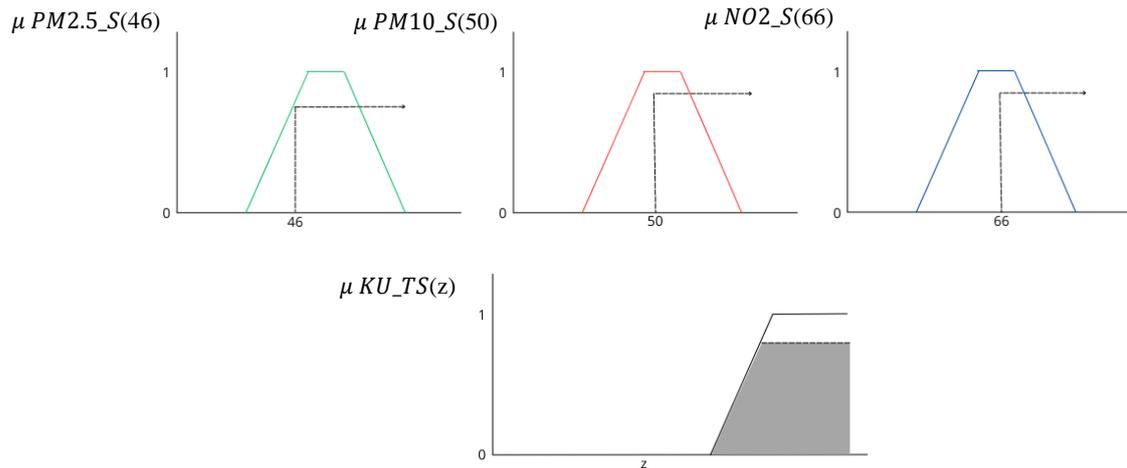
$$\begin{aligned}
 \alpha - \text{predikat}_3 &= \mu_{KU_S}(z) \\
 &= \min(\mu_{PM_{2.5}_S}(46), \mu_{PM_{10}_S}(50), \mu_{NO_{2}_S}(66)) \\
 &= \min(0,88; 1; 1) \\
 &= 0,88
 \end{aligned}$$



Gambar 3.14 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R21]

[R22] *If PM_{2.5} Sedang and PM₁₀ Sedang and NO₂ Sedang then Kualitas Udara Tidak sehat*

$$\begin{aligned}
 \alpha - \text{predikat}_4 &= \mu_{KU_{TS}}(z) \\
 &= \min(\mu_{PM_{2.5}_S}(46), \mu_{PM_{10}_S}(50), \mu_{NO_{2}_S}(66)) \\
 &= \min(0,88; 1; 1) = 0,88
 \end{aligned}$$



Gambar 3.15 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R22]

3.6.4 Komposisi Aturan

Tahap selanjutnya adalah mengomposisikan aturan. Metode komposisi yang dipakai pada logika *fuzzy* metode Mamdani adalah metode *max*. Untuk kasus tanggal 5 November, akan ditunjukkan hasil inferensi menggunakan metode *max* dalam melakukan komposisi aturan. Berdasarkan daerah hasil komposisi pada gambar 3.10, akan dicari nilai dari z_1 , z_2 , z_3 , z_4 , dan z_5 . Nilai tersebut diperoleh berdasarkan fungsi keanggotaan Kualitas Udara yang telah ditetapkan. Berikut nilai dari z_1 , z_2 , z_3 , z_4 , dan z_5 .

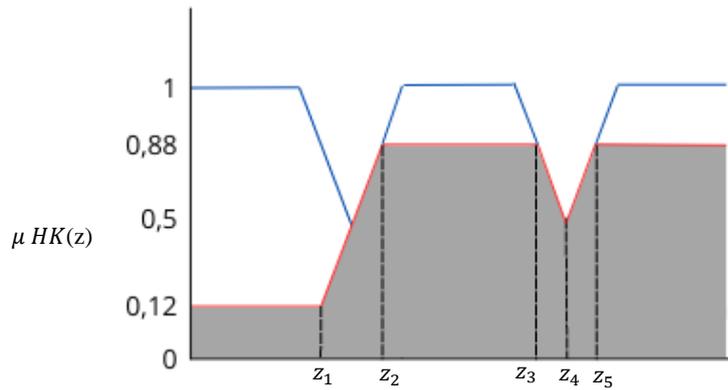
$$0,12 = \frac{(z_1 - 25)}{(34 - 25)} \rightarrow z_1 = 26,08$$

$$0,88 = \frac{(z_2 - 25)}{(34 - 25)} \rightarrow z_2 = 32,92$$

$$0,88 = \frac{(75 - z_3)}{(75 - 66)} \rightarrow z_3 = 67,08$$

$$0,5 = \frac{(75 - z_4)}{(75 - 66)} \rightarrow z_4 = 70,5$$

$$0,88 = \frac{(z_5 - 66)}{(75 - 66)} \rightarrow z_5 = 73,92$$



Gambar 3.16 Daerah Hasil Komposisi

3.6.5 Defuzzifikasi

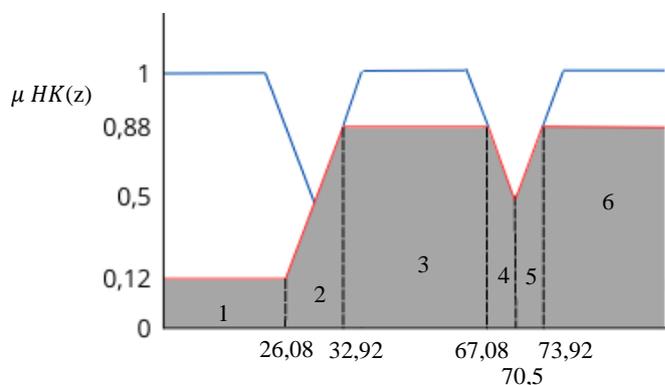
Tahap terakhir adalah defuzzifikasi untuk memperoleh suatu nilai yang merepresentasikan *output* kualitas udara. Salah satu metode defuzzifikasi yang ada pada komposisi aturan Mamdani yaitu metode *centroid*. Metode ini merupakan pembagian antara momen dan luas daerah. Pada contoh kasus tanggal 5 November, daerah hasil komposisi dibagi menjadi beberapa partisi. Maka nilai *output* kualitas udara untuk tanggal 5 November adalah sebagai berikut.

$$z^* = \frac{\int z\mu(z) dz}{\int \mu(z) dz}$$

$$= \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6}$$

$$= \frac{\int_0^{26,08} 0,12z dz + \int_{26,08}^{32,92} (0,11z - 3,125)z dz + \int_{32,92}^{67,08} 0,88z dz + \int_{67,08}^{70,5} (8,33 - 0,11z)z dz + \int_{70,5}^{73,92} (0,11z - 7,33)z dz + \int_{73,92}^{100} 0,88z dz}{\int_0^{26,08} 0,12 dz + \int_{26,08}^{32,92} (0,11z - 3,125) dz + \int_{32,92}^{67,08} 0,88 dz + \int_{67,08}^{70,5} (8,33 - 0,11z) dz + \int_{70,5}^{73,92} (0,11z - 7,33) dz + \int_{73,92}^{100} 0,88 dz}$$

$$= \frac{(40,81 + 103,85 + 1503,04 + 145,36 + 185,79 + 1995,77)}{3,13 + 3,42 + 30,06 + 2,12 + 2,57 + 22,95} \approx 61,9$$



Gambar 3.17 Partisi Daerah Hasil Komposisi

3.6.6 Penentuan Himpunan Semesta dan Subhimpunan Data Latih

Dalam menentukan himpunan semesta, yang perlu dilakukan adalah mencari nilai D_{\min} dan D_{\max} dari data aktual parameter kualitas udara. D_{\min} merupakan data minimum parameter, sedangkan D_{\max} adalah data maksimum parameter. Himpunan semesta didefinisikan sebagai $U = [D_{\min} - d_1; D_{\max} + d_2]$, dengan d_1 dan d_2 merupakan bilangan positif yang ditentukan secara acak. Berdasarkan data aktual, didapatkan $D_{\min} = 12,5$ dan $D_{\max} = 87,5$. Kemudian ditentukan nilai $d_1 = 2,5$ dan $d_2 = 2,5$ sehingga $U_p = [10; 90]$. Kemudian menghitung panjang interval dengan metode *average-based*.

Tabel 3.3 Perhitungan Absolut

Tanggal	Angka Kualitas Udara	Selisih Absolut
1 November 2023	12,5	-
2 November 2023	63,61	51,11
3 November 2023	87,5	23,89
4 November 2023	36,79	50,71
5 November 2023	61,9	24,86
Total selisih		150,57
Rata-rata selisih		37,64
$\frac{1}{2}$ rata-rata selisih		18,82

Pada tabel tersebut didapatkan $\frac{1}{2}$ rata-rata selisih sebesar 18,82. Sesuai dengan metode *average-based* pada tabel 2.4, maka termasuk basis 10 dan data dibulatkan menjadi 20 sebagai panjang interval efektif.

$$\text{jumlah subhimpunan} = \frac{90 - 10}{20} = 4$$

Didapatkan jumlah subhimpunan sebesar 4, sehingga dapat dibentuk u_i sebagai subhimpunan semesta U , dimana $i = 1, 2, 3, 4$. Untuk menentukan batas atas dan batas bawah sub himpunan digunakan persamaan berikut.

$$u_i = [((D_{\min} - d_1) + (i - 1) * range), ((D_{\max} + d_2) + (i * range))]$$

sehingga didapatkan

Tabel 3.4 Subhimpunan

U	Rentang	<i>Midpoint</i>	Nilai
u_1	[10,30)	m_1	20
u_2	[30,50)	m_2	40
u_3	[50,70)	m_3	60
u_4	[70,90)	m_4	80

3.6.7 Penentuan Parameter Algoritma Genetika

- Banyak generasi = 1
- Ukuran populasi awal = 3
- Jumlah gen pada tiap kromosom = 3
- *Crossover rate* = 0,5
- *Mutation rate* = 0,3

3.6.8 Representasi Kromosom

Representasi kromosom dengan bentuk *value encoding* atau menggunakan suatu nilai yang sesuai dengan masalah yang sedang dihadapi akan digunakan dalam proses peramalan kualitas udara di Kota Bandung. Jumlah kromosom akan dijadikan sebagai parameter pengujian.

X_1	X_2	X_3
-------	-------	-------

3.6.9 Pembentukan Populasi

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam pembentukan populasi:

1. Menentukan ukuran populasi awal dan jumlah kromosom (banyak generasi)
2. Pembentukan kromosom dengan membangkitkan nilai random yang berada di dalam interval himpunan semesta, yaitu:

$$U = [10; 90]$$

3. Apabila jumlah pembentukan kromosom sudah memenuhi ukuran populasi yang ditentukan, maka pembentukan kromosom dihentikan. Sebaliknya, jika belum memenuhi ukuran populasi, maka pembentukan kromosom akan terus dilanjutkan.

Tabel 3.5 Populasi Awal Parameter Kualitas Udara

<i>Parent</i>	Kromosom
P1	33,8; 61,2; 84,2
P2	12,3; 30,8; 51,6
P3	27,5; 57,8; 88,7

3.6.10 Proses *Crossover*

Tahap awal yang harus ditentukan adalah jumlah *offspring* yang akan dihasilkan pada suatu populasi induk. Jumlah *offspring* didapatkan dari hasil perkalian antara tingkat *crossover* dengan jumlah populasi. Jika $cr = 0,5$ maka $offspring = 0,5 * 3 = 1,5 = 2$ (dibulatkan menjadi 2). Selanjutnya memilih dua kromosom induk (*parent*) secara acak di dalam populasi dan menggabungkan dua induk tersebut dengan menggunakan metode *crossover* satu titik. Proses *crossover* dilakukan hingga memenuhi ukuran *offspring* yang telah ditentukan, Berdasarkan tabel 3.1 diambil dua kromosom induk secara acak, yaitu P1 dan P3 sebagai *parent*. Kemudian akan menghasilkan C1 sebagai *offspring*.

P1

33,8	61,2	84,2
------	------	------

P3

27,5	57,8	88,7
------	------	------

Pada dua tabel kromosom *parent* P1 dan P3 dipilih titik potong pada gen ke-2. Dari proses *crossover* tersebut diperoleh C1, dengan gen ke-1 sampai 2 dibentuk dari P3 sedangkan gen ke-3 dibentuk dari P1.

C1

27,5	57,8	84,2
------	------	------

Kromosom C1 akan mengisi *offspring*, tetapi karena jumlah *offspring* yang dibutuhkan adalah 2, sehingga proses *crossover* perlu dilakukan kembali agar terpenuhi. *Parent* selanjutnya yang dipilih yaitu P1 dan P2, sehingga gen ke-1 pada

kromosom C2 diperoleh dari P2, sedangkan gen ke-2 sampai 3 pada kromosom C2 diperoleh dari P1.

C2

12,3	33,8	84,2
------	------	------

3.6.11 Proses Mutasi

Tahap awal yang harus ditentukan adalah jumlah *offspring* yang akan dihasilkan pada suatu populasi induk. Jumlah *offspring* didapatkan dari hasil perkalian antara tingkat *mutation* dengan jumlah populasi. Jika $mr = 0,3$ maka $offspring = 0,3 * 3 = 0,9 = 1$ (dibulatkan menjadi 1). Selanjutnya menentukan *point* mutasi pada kromosom yang terpilih secara random.

C1

27,5	57,8	84,2
------	------	------

Pada tabel kromosom C1, *point* mutasi yang terpilih yaitu gen nomor 2. Gen terpilih tersebut dihapus lalu digantikan dengan nilai *random* yang dibentuk berdasarkan *range* nilai gen nomor 1 dan nomor 3. Nilai gen baru yang dihasilkan dari proses mutasi adalah 46,5, seperti yang ditunjukkan pada kromosom C3 sebagai berikut.

C3

27,5	46,5	88,7
------	------	------

3.6.12 Seleksi dan Evaluasi Nilai *Fitness*

Pada tahap sebelumnya telah dilakukan proses *crossover* dan mutasi yang menghasilkan beberapa *offspring*. *Offspring* tersebut akan digabungkan dengan *parent* kemudian dipilih individu terbaik. Untuk memilih individu terbaik, diperlukan proses seleksi. Pada penelitian kali ini, menggunakan seleksi *elitism* dan berikut adalah tahapan seleksinya.

1. Menggabungkan kromosom *parent* dan *offspring*

Tabel 3.6 Hasil Kromosom

Individu	Kromosom
P1	33,8; 61,2; 84,2
P2	12,3; 30,8; 51,6

P3	27,5; 57,8; 88,7
C1	27,5; 57,8; 84,2
C2	12,3; 33,8; 84,2
C3	27,5; 46,5; 84,2

2. Menghitung nilai *fitness* masing-masing individu/kromosom dengan menggunakan *fuzzy time series*. Kemudian individu diurutkan berdasarkan nilai *fitness* terbaik.

Tabel 3.7 Hasil Kromosom dan Nilai *Fitness*

Individu	Kromosom	<i>Fitness</i>
C3	27,5; 46,5; 84,2	0,34827324
C1	27,5; 57,8; 84,2	0,11739495
P3	27,5; 57,8; 88,7	0,09378109
P1	33,8; 61,2; 84,2	0,07633481
C2	12,3; 33,8; 84,2	0,07055844
P2	12,3; 30,8; 51,6	0,02982103

3.6.13 Menentukan Himpunan Semesta dan Subhimpunan

Berdasarkan data latih yang digunakan, didapatkan nilai sebagai berikut.

$$D_{\min} = 12,5$$

$$D_{\max} = 87,5$$

$$d_1 = 2,5$$

$$d_2 = 2,5$$

sehingga $U_p = [10; 90]$. Subhimpunan yang terbentuk yaitu:

$$u_1 = [10; 27,5), u_2 = [27,5; 46,5), u_3 = [46,5; 84,2), u_4 = [84,2; 90]$$

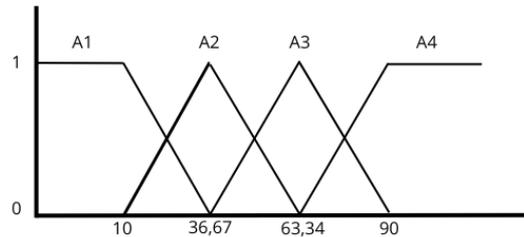
3.6.14 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* didefinisikan A_1, A_2, \dots, A_m dan ditentukan berdasarkan jumlah subhimpunan semesta, dimana pada penelitian ini nilai himpunan *fuzzy* sesuai dengan nilai subhimpunan. Untuk menentukan himpunan *fuzzy* dilakukan dengan cara menghitung rentang untuk masing-masing variabel linguistik terlebih dahulu.

$$\text{Rentang fuzzy set} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{\text{jumlah sub himpunan} - 1}$$

$$\text{Rentang fuzzy set} = \frac{90 - 10}{4 - 1} = 26,67$$

Berikut adalah hasil himpunan *fuzzy*.



Gambar 3.18 Hasil Himpunan *Fuzzy*

sehingga diperoleh sebagai berikut.

Tabel 3.8 Himpunan *Fuzzy*

A_i	Nilai
A_1	0 – 36,67
A_2	10 – 63,34
A_3	36,67 – 90
A_4	$\geq 63,34$

3.6.15 Fuzzifikasi

Untuk mencari nilai keanggotaan tiap data digunakan persamaan pada kurva segitiga. Berikut merupakan hasil dari perhitungan nilai keanggotaan.

Tabel 3.9 Nilai Keanggotaan

Tanggal	Angka Kualitas Udara	A1	A2	A3	A4
01/11/2023	12,5	0,90625	0,09375	0	0
02/11/2023	63,61	0	0	0,796875	0,203125
03/11/2023	87,5	0	0	0,09375	0,90625
04/11/2023	36,79	0	0,986375	0,013625	0
05/11/2023	61,65	0	0,063125	0,936875	0

Fuzzifikasi merupakan tahap memasukkan data aktual ke dalam interval subhimpunan u_i yang akan dijadikan himpunan *fuzzy* A_j , sesuai dengan nilai yang terdapat pada data tersebut dengan melihat nilai maksimum pada nilai keanggotaan.

Tabel 3.10 Fuzzifikasi

Tanggal	Angka Kualitas Udara	Fuzzifikasi
01/11/2023	12,5	A1
02/11/2023	63,61	A3
03/11/2023	87,5	A4
04/11/2023	36,79	A2
05/11/2023	61,65	A3

3.6.16 Fuzzy Logical Relationship (FLR)

Langkah selanjutnya adalah menentukan FLR. Berikut adalah hasil secara lengkap.

Tabel 3.11 Fuzzy Logical Relationship

Tanggal	FLR
01/11/2023 -> 2/11/2023	A1 -> A3
02/11/2023 -> 3/11/2023	A3 -> A4
03/11/2023 -> 4/11/2023	A4 -> A2
04/11/2023 -> 5/11/2023	A2 -> A3

3.6.17 Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG)

Setelah mendapatkan FLR langkah selanjutnya adalah menentukan FLRG. Hasil FLRG untuk selengkapnya dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.12 Fuzzy Logical Relationship Group

Current State	Next State
A1	A3
A2	A3
A3	A4
A4	A2

3.6.18 Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi dilakukan dari proses FLRG. Pada proses ini menggunakan nilai tengah dari tiap subhimpunan. Oleh karena itu, berikut adalah nilai tengah dari setiap subhimpunan.

Tabel 3.13 Nilai Tengah Subhimpunan

Subhimpunan	Batas Bawah	Batas Atas	Nilai Tengah (m_i)
u_1	10	27,5	18,75
u_2	27,5	46,5	37
u_3	46,5	84,2	65,35
u_4	84,2	90	87,1

Misalkan defuzzifikasi A_3 dimana A_3 memiliki *next state* A_4 sehingga:

Ramalan $A_3 = m_4$ (*midpoint*) = 87,1

Semua hasil defuzzifikasi ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.14 Defuzzifikasi

<i>Current State</i>	<i>Next State</i>	Rumus	Defuzzifikasi
A1	A3	m_3	65,35
A2	A3	m_3	65,35
A3	A4	m_4	87,1
A4	A2	m_2	37

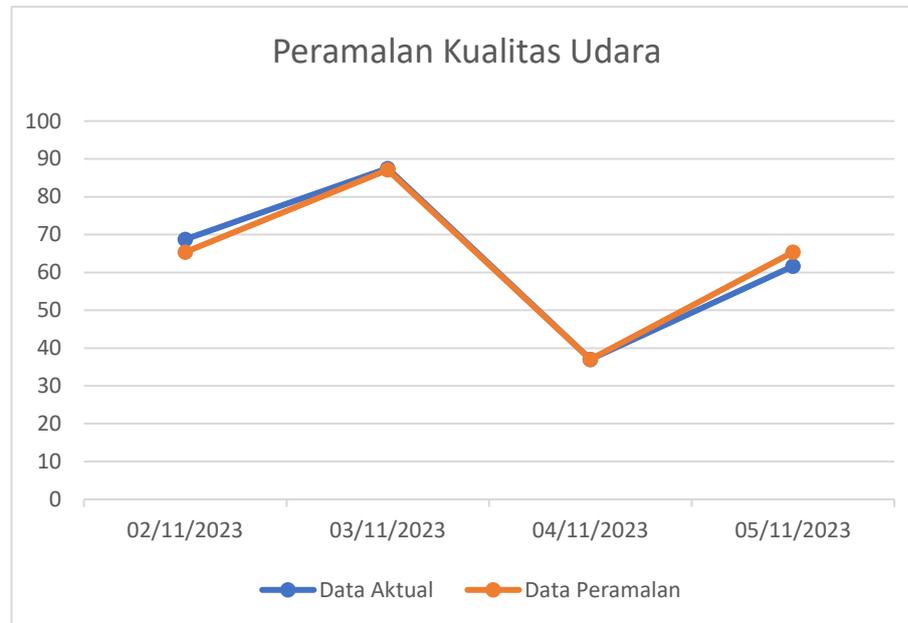
3.6.19 Peramalan dan Perhitungan MAPE

Langkah terakhir adalah melakukan peramalan dari hasil defuzzifikasi berdasarkan FLR. Hasil ramalan selengkapnya ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3.15 Peramalan

Tanggal	Kualitas Udara	Peramalan	Error
01/11/2023	12,5	-	
02/11/2023	63,61	65,35	2,7
03/11/2023	87,5	87,1	0,4
04/11/2023	36,79	37	0,6
05/11/2023	61,65	65,35	6

Perhitungan nilai MAPE dilakukan dengan cara menjumlahkan semua nilai error kemudian dibagi dengan jumlah data latih, sehingga diperoleh nilai MAPE sebesar 2,4%. Berikut adalah grafik kurva perbandingan antara data aktual dengan data peramalan kualitas udara yang telah dilakukan.



Gambar 3.19 Hasil Peramalan Kualitas Udara

3.6.20 Peramalan Data Uji

Untuk melihat apakah model yang dibuat termasuk kategori baik atau tidak, diperlukan peramalan pada data uji. Data uji yang digunakan adalah data pada tanggal 6 November, yaitu 85,14, dimasukkan ke dalam model yang telah dibuat oleh data latih. Didapatkan hasil peramalannya adalah 87,1. Sedangkan nilai MAPE yang didapatkan adalah 2,302090674%. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai MAPE antara data latih dengan data uji memiliki selisih yang sedikit sehingga peramalan dikategorikan baik.

3.7 Validasi Program Perhitungan

Proses perhitungan dan implementasi dari *fuzzy* Mamdani dan algoritma genetika-*fuzzy time series* memerlukan waktu yang cukup lama untuk dihitung secara manual. Oleh karena itu, untuk mempercepat proses perhitungan dan

implementasi, pada penelitian ini dikembangkan program dengan menggunakan Matlab dan bahasa pemrograman *Python*.

Program Matlab dipilih karena memiliki pustaka (*library*) yang mendukung sistem *fuzzy* Mamdani. Sistem tersebut dikenal sebagai *Fuzzy Logic Toolbox*, yang menyediakan fungsi dan alat untuk membuat, mengedit, dan mengimplementasikan sistem logika *fuzzy*, termasuk sistem Mamdani. Selain itu, *Python* juga dipilih karena memiliki banyak pustaka (*library*) yang memudahkan implementasi algoritma genetika dan *fuzzy time series*.

Diperlukan pengukuran kualitas dan efektivitas dari program yang telah dibuat dengan cara melakukan validasi terhadap model peramalan kualitas udara yang telah dikembangkan. Validasi ini dilakukan dengan melakukan peramalan nilai kualitas udara berdasarkan data yang tidak pernah dilihat sebelumnya (data uji). Jika hasil peramalan menunjukkan kesesuaian dengan nilai aktual dari data historis, maka penelitian akan dilanjutkan ke tahap implementasi. Namun, jika hasil peramalan jauh dari nilai aktual, maka proses pengembangan program akan diulang dan diperbaiki.

3.8 Implementasi

Setelah memvalidasi program yang telah dibuat, langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan program tersebut pada data aktual. Proses implementasi dilakukan dengan memasukkan data aktual ke dalam program dan menjalankan analisis sesuai dengan metodologi yang telah dirancang. Hasil dari implementasi ini akan memberikan gambaran tentang peramalan kualitas udara berdasarkan model yang telah dibuat.

3.9 Penarikan Kesimpulan

Pada tahap akhir dari penelitian ini, dilakukan penarikan kesimpulan yang bertujuan untuk memberikan jawaban terhadap pertanyaan yang dirumuskan dalam rumusan masalah penelitian. Kesimpulan dari penelitian ini akan ditarik berdasarkan analisis hasil implementasi yang akan dijabarkan lebih lanjut pada bab berikutnya.