

Perbandingan Simulasi Kontrol Kecepatan Kereta Api Dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Sugeno

Comparison of Train Speed Control Simulation with Fuzzy Logic Mamdani and Sugeno Methods

R. Akbar Nur Apriyanto*, Daris Itsar Samudra, Galang Dafa Yudhiatama, Jamaludin Al Afgani, Nur Mustofa, Sifara Feby Nugraheny, Zahra Cyrilla Huda

Politeknik Negeri Madiun, Jl. Ring Road Barat, Winongo, Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur 63162

Email* : akbar@pnm.ac.id

Abstrak - Terjangkaunya harga dan lengkapnya fasilitas kereta api membuat banyak masyarakat memilih transportasi darat ini. Namun, berdasarkan data dari Buku Statistik Bidang Perkeretaapian jumlah kecelakaan kereta api selama tahun 2021 sebanyak 18 kasus kecelakaan. Penyebabnya bisa dikarenakan oleh beberapa faktor yaitu sarana, prasarana, SDM operator, eksternal, dan faktor alam dengan faktor-faktor yang berpengaruh, seperti Kondisi Reldan Cuaca. Tujuan diadakannya penelitian ini untuk mengetahui perbandingan simulasi kontrol Kecepatan kereta api dengan logika fuzzy metode mamdani dan sugeno yang berkaitan dengan terjadinya kecelakaan pada kereta api. Digunakan metode fuzzy Mamdani dan fuzzy Sugeno untuk mengetahui hasil perbandingan Kecepatan kereta yang baik sehingga dapat mengurangi kecelakaan kereta dengan faktor Kondisi Reldan Cuaca. Terdapat tiga parameter pada masing-masing faktor, yaitu faktor Kondisi Reldan dengan parameter Lurus, Tikungan Ringan, dan Tikungan Tajam serta faktor Cuaca dengan parameter cerah, Gerimis, dan Hujan. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah keadaan rel Tikungan Tajam dan Cuaca Hujan. Hasil penelitian menyatakan bahwa pada metode mamdani dihasilkan 72.7 km/jam, Sedangkan untuk metode sugeno dihasilkan 55.7 km/jam. Dengan adanya ambang batas Kecepatan kereta api sebesar 60 km/jam, dapat disimpulkan bahwa metode yang tepat digunakan ialah metode sugeno karena dapat meminimalisir kecelakaan kereta api.

Kata kunci : Kereta api, Fuzzy Logic, Kontrol Kecepatan.

Abstract *The affordable price and complete rail facilities make many people choose this land transportation. However, based on data from the Railway Statistics Book, the number of train accidents during 2021 was 18 accidents. The cause can be due to several factors, namely facilities, infrastructure, operator human resources, external, and natural factors with influencing factors, such as rail conditions and weather. The purpose of this study is to compare the simulation of train speed control with the fuzzy logic of the Mamdani and Sugeno methods related to the occurrence of accidents on trains. Fuzzy Mamdani and Sugeno fuzzy methods are used to find out the results of a good train speed comparison so that it can reduce train accidents with rail conditions and weather factors. There are three parameters for each factor, namely the rail condition factor with straight parameters, light bends, and sharp turns as well as weather factors with sunny, drizzling, and rainy parameters. The parameters used in this study are the state of the sharp bend rail and rainy weather. The results showed that the Mamdani method produced 72.7 km/hour, while the Sugeno method produced 55.7 km/hour. With the train speed threshold of 60 km/hour, it can be concluded that the appropriate method used is the Sugeno method because it can minimize train accidents.*

Keywords : Train, Fuzzy Logic, Speed control.

I. PENDAHULUAN

Kereta api merupakan salah satu alat transportasi yang banyak diminati masyarakat sekarang ini, terlebih bagi masyarakat golongan menengah ke bawah. Kebanyakan masyarakat menggunakan kereta api untuk perjalanan yang cukup jauh. Selain harga tiketnya yang relatif terjangkau, akan lebih aman menggunakan

transportasi ini. Seperti yang tertulis di Undang-undang Nomor 23 Tahun 2007 yang menyatakan penyelenggara sarana perkeretaapian wajib memberikan fasilitas khusus dan kemudahan bagi penyandang cacat, wanita hamil, anak di bawah lima tahun, orang sakit, orang lanjut usia tanpa dipungut biaya apapun. Hal di atas salah satu alasan yang membuat banyaknya masyarakat

menggunakan kereta api untuk perjalanan yang jauh. Oleh karena itu, masyarakat menengah ke bawah akan memperoleh keuntungan yang lebih dengan menggunakan transportasi ini apabila mengalami seperti yg tertulis di UU nomor 23 di atas.

Meningkatnya jumlah penumpang kereta api dari tahun ke tahun menjadi fokus utama pemerintah untuk menjaga keselamatan dan keamanan penumpang, mengingat kasus kecelakaan kereta api di Indonesia masih cukup tinggi. Berdasarkan data dari Buku Statistik Bidang Perkeretaapian, jumlah kecelakaan kereta api selama tahun 2021 sebanyak 18 kejadian kecelakaan. Penyebab kecelakaan tersebut adalah faktor dari sarana, prasarana, SDM operator, eksternal dan faktor alam. Contoh dari penyebab sarana dipengaruhi oleh keadaan kondisi kereta tersebut. Faktor penyebab SDM dipengaruhi oleh Kecepatan kereta yang berlebih. Faktor penyebab prasarana adalah jenis keadaan rel seperti rel Lurus atau tikungan. Sedangkan faktor alam disebabkan oleh bencana alam seperti banjir atau tanah longsor [1].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sumarta (2013), beberapa faktor penyebab kecelakaan yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah kelas jalan, Cuaca, jarak antar kendaraan, dan Kecepatan kendaraan. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa metode *fuzzy* mamdani dapat digunakan untuk mengetahui batas Kecepatan maksimal kendaraan. Dengan mengetahui batas maksimal tersebut, pengemudi dapat menerapkannya sehingga dapat mengurangi jumlah kecelakaan. Hasil tersebut masih diterapkan pada kendaraan roda dua dan roda empat, yang mana belum dilakukan penelitian pada kereta api [2]. Penelitian pengendalian Kecepatan kendaraan roda empat dengan menggunakan Fuzzy Inference System oleh Hasibuan, Kusumastuti, dan Irawan (2014) juga menyatakan bahwa metode Mamdani, Tsukamoto, dan Sugeno dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi Kecepatan yang layak pada suatu mesin, salah satunya pada kendaraan roda empat. Pada penelitian ini, variabel yang digunakan adalah jarak kendaraan dan jarak tikungan. Hasilnya adalah terdapat perbandingan antara metode Sugeno dan Mamdani, yang mana metode Mamdani jauh lebih baik digunakan dalam menentukan Kecepatan sebuah kendaraan roda empat karena memiliki nilai laju kendaraan yang lebih layak. Dengan mengetahui adanya besar nilai laju kendaraan yang lebih layak pada kendaraan

roda empat, jumlah kecelakaan yang terjadi dapat berkurang [3].

Untuk mengatasi beberapa penyebab kecelakaan di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk membandingkan dua metode, yaitu metode *fuzzy* mamdani dan *fuzzy* sugeno yang mana berkaitan dengan faktor-faktor dari penyebab kecelakaan tersebut. Dalam kasus ini, terdapat 3 input yaitu kondisi rel, Cuaca dan jarak kereta ke stasiun. Untuk kondisi rel, memiliki 3 *membership function* yaitu rel Lurus, Tikungan Ringan, dan Tikungan Tajam. Untuk Cuaca, *membership function*-nya adalah cerah, Gerimis, dan Hujan. Sedangkan untuk jarak kereta ke stasiun, mempunyai *membership function* yaitu jauh, Sedang dan dekat. Hasil dari input tersebut berupa Kecepatan yang dapat dikontrol berdasarkan keadaan dari masing-masing input diatas.

II. METODOLOGI

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa langkah yang dilakukan, yang dapat dilihat pada flowchart sebagai berikut :

A. Identifikasi Input dan Output

Dalam penelitian ini ada beberapa keadaan sebagai input pada sistem kontrol Kecepatan ini yaitu: kondisi rel, Cuaca dan jarak kereta ke stasiun. Sedang untuk output yaitu Kecepatan kereta api. Diagram alir simulasi kontrol kereta api ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Simulasi Kontrol Kecepatan Kereta Api

B. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Dikarenakan percobaan kali ini merupakan simulasi, maka parameter yang digunakan untuk pembentukan himpunan

fuzzy kita asumsikan nilai dengan range 0-1 yang menggambarkan setiap kondisi seperti yang terjadi di lapangan.

Menggunakan metode fuzzy mamdani :

1) Kondisi Rel

Pada tahap ini dilakukan penginputan nilai parameter pada kondisi jalan rel seperti yang ditunjukkan pada **Tabel I** dan **Gambar 2**.

Tabel I. Parameter Kondisi Rel Metode Mamdani

Kondisi Rel	Parameter	Tipe
Tikungan Tajam	[-0.4 0 0.4]	Trimf
Tikungan Ringan	[0.1 0.5 0.9]	
Lurus	[0.6 1 1.4]	

2) Cuaca

Pada parameter Cuaca dilakukan penginputan nilai parameter pada kondisi Cuaca dengan nilai seperti pada **Tabel II** dan **Gambar 3** di bawah ini .

Tabel II. Parameter Cuaca Metode Mamdani

Cuaca	Parameter	Tipe
Hujan	[-0.4 0 0.4]	Trimf
Rintik-rintik	[0.1 0.5 0.9]	
Cerah	[0.6 1 1.4]	

3) Jarak Kereta

Pada parameter jarak kereta digunakan nilai parameter dengan kondisi jarak kereta ke stasiun seperti pada **Tabel III** dan **Gambar 4** di bawah ini.

Tabel III. Parameter Jarak Kereta Metode Mamdani

Jarak Kereta	Parameter	Tipe
Dekat	[-2 -1 10 20]	Trapmf
Sedang	[10 30 50]	Trimf
Jauh	[40 80 100 100]	Trapmf

4) Kecepatan

Pada tahap ini dilakukan penginputan nilai parameter pada output Kecepatan yang ditunjukkan pada **Tabel IV** dan **Gambar 5**.

Tabel 4. Parameter Kecepatan Metode Mamdani

Kecepatan	Parameter	Tipe
Sangat lambat	[0 0 20 30]	Trapmf
Lambat	[20 30 40]	Trapmf
Agak lambat	[30 40 50]	Trimf
Perlahan	[40 50 60]	Trimf
Sedang	[50 60 70]	Trimf
Agak cepat	[60 70 80]	Trimf
Cepat	[70 80 90]	Trimf
Maksimal	[80 90 100 100]	Trapmf

Menggunakan metode fuzzy sugeno :

1) Kondisi Rel

Pada tahap ini dilakukan penginputan nilai parameter pada kondisi jalan rel seperti ditunjukkan pada **Tabel V** dan **Gambar 6** di bawah ini.

Tabel V. Parameter Jalan Rel Metode Sugeno

Kondisi Rel	Parameter	Tipe
Tikungan Tajam	[-0.4 0 0.4]	Trimf
Tikungan Ringan	[0.1 0.5 0.9]	
Lurus	[0.6 1 1.4]	

2) Cuaca

Pada tahap ini dilakukan penginputan nilai parameter pada kondisi Cuaca seperti pada **Tabel VI** dan **Gambar 7** di bawah.

Tabel VI. Parameter Cuaca Metode Sugeno

Cuaca	Parameter	Tipe
Hujan	[-0.4 0 0.4]	Trimf
Gerimis	[0.1 0.5 0.9]	
Cerah	[0.6 1 1.4]	

3) Jarak Kereta

Pada tahap ini dilakukan penginputan nilai parameter pada kondisi jarak kereta ke stasiun seperti pada **Tabel VII** dan **Gambar 8** di bawah ini.

Tabel VII. Parameter Jarak Metode Sugeno

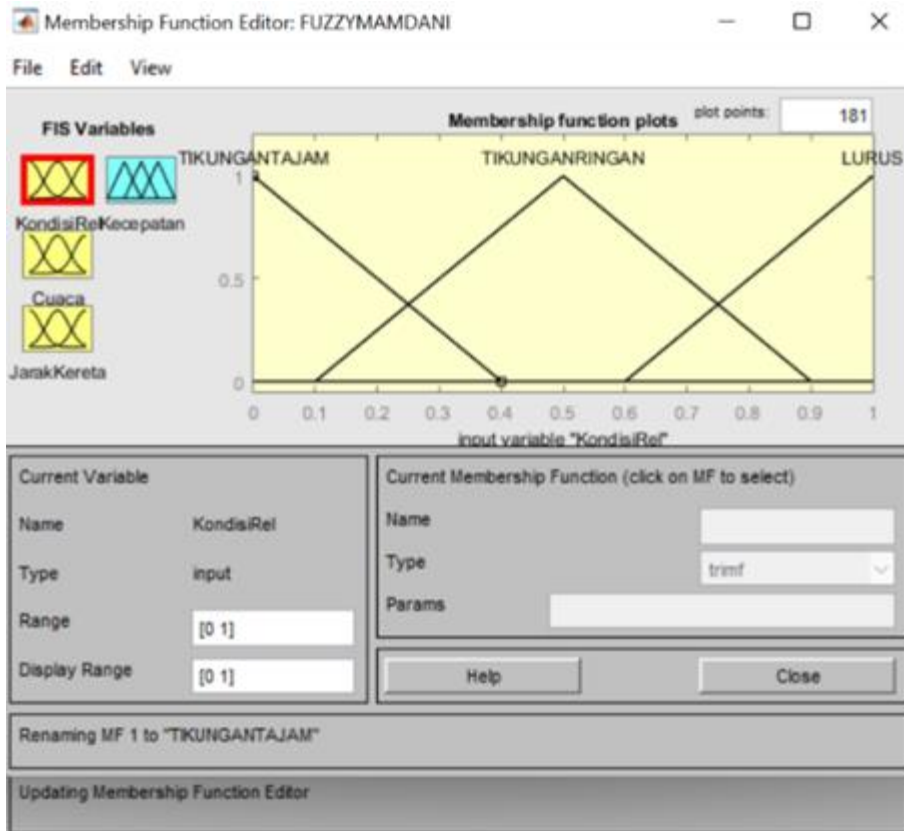
Jarak Kereta	Parameter	Tipe
Dekat	[-2 -1 10 20]	Trapmf
Sedang	[10 30 50]	Trimf
Jauh	[40 80 100 100]	Trapmf

4) Kecepatan

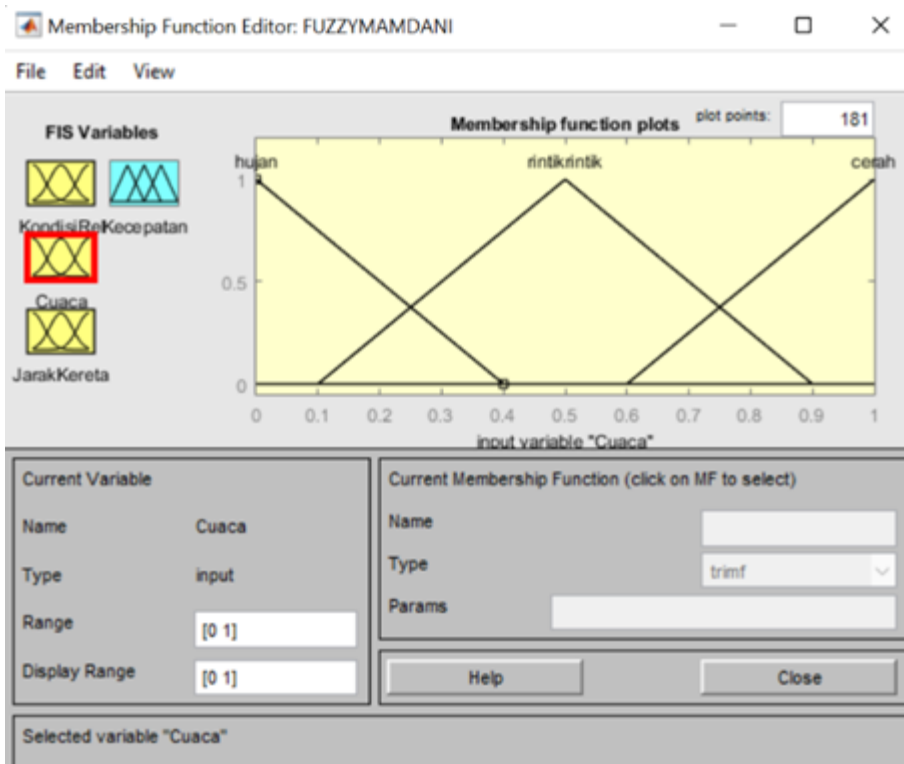
Pada tahap ini dilakukan penginputan nilai parameter pada output Kecepatan yang ditunjukkan seperti **Tabel VIII** dan **Gambar 9** di bawah ini.

Tabel VIII. Parameter Kecepatan Metode Sugeno

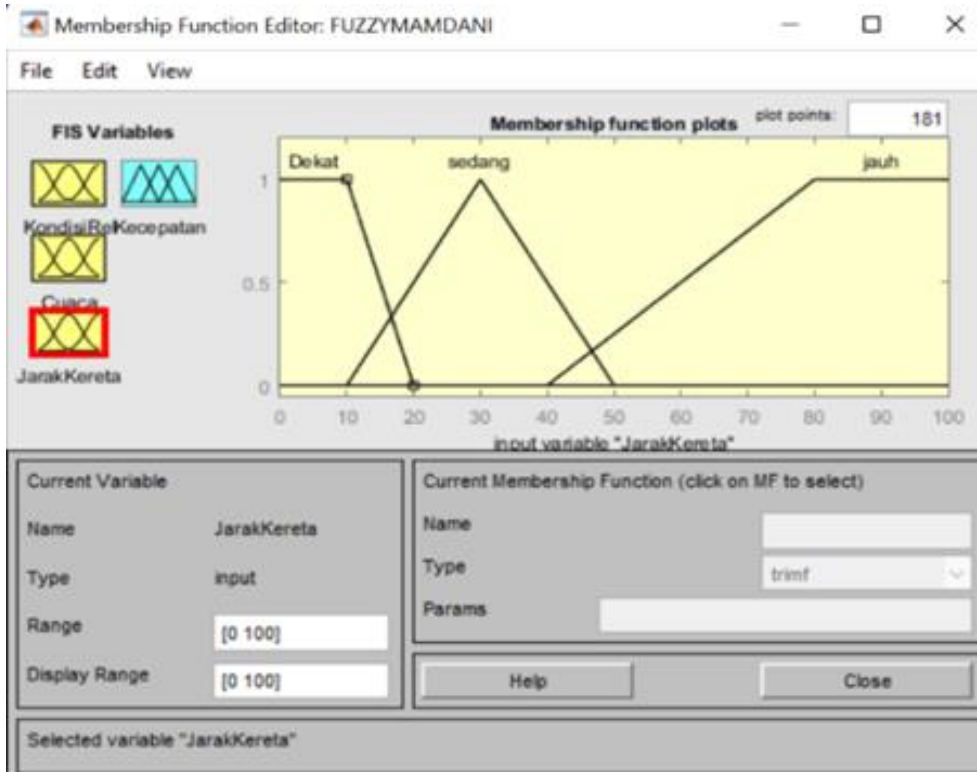
Kecepatan	Parameter	Tipe
1	[50*Kondisi Rel+ 5*Cuaca + 0.4*jarak kereta + 2]	Constant
2	[80*Kondisi Rel+ 8*Cuaca + 0.3*jarak kereta + 2]	
3	[30*Kondisi Rel+ 10*Cuaca + 0.2*jarak kereta]	



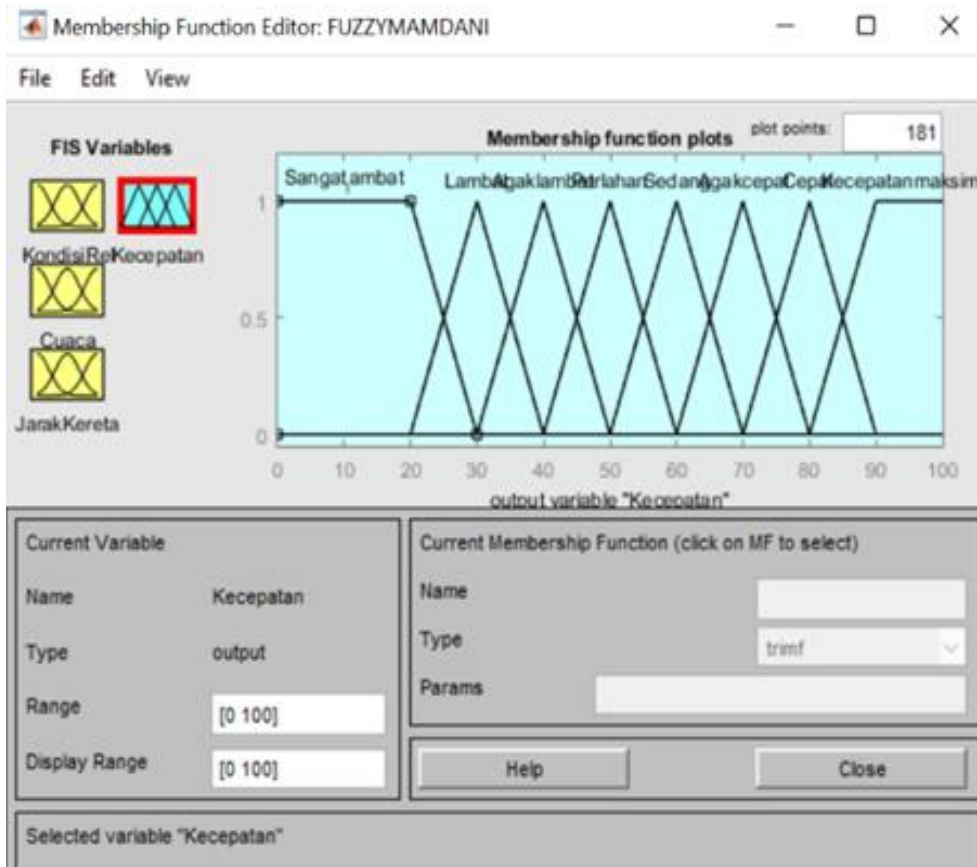
Gambar 2. Membership Function Kondisi Rel Metode Mamdani



Gambar 3. Membership Function Cuaca Metode Mamdani



Gambar 4. Membership Function Jarak Kereta Metode Mamdani



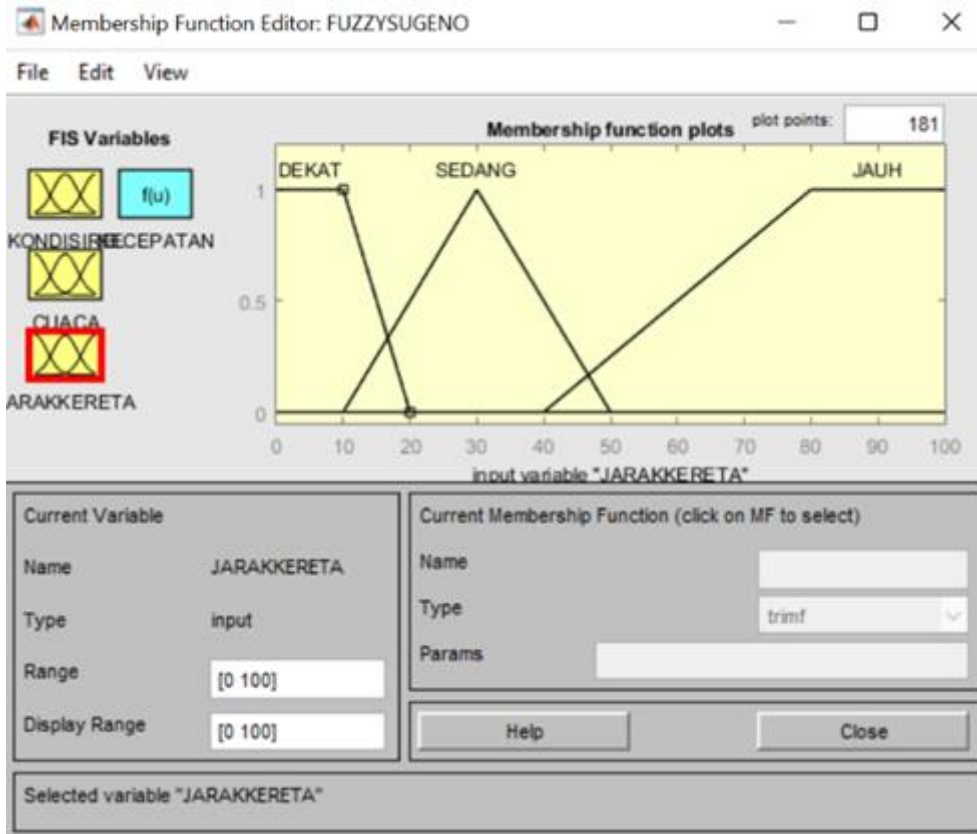
Gambar 5. Membership Function Kecepatan Metode Mamdani



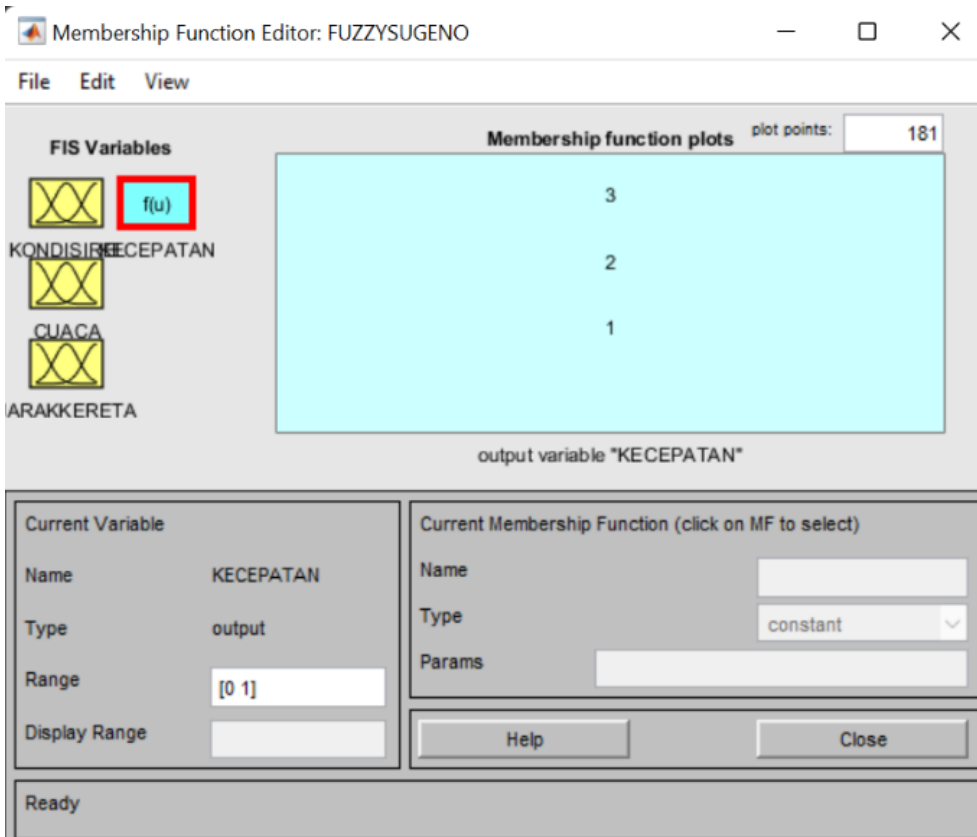
Gambar 6. Membership Function Jalan Rel Metode Sugeno



Gambar 7. Membership Function Cuaca Metode Sugeno



Gambar 8. Membership Function Jarak Metode Sugeno



Gambar 9. Membership Function Kecepatan Metode Sugeno

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan Kecepatan pada suatu kendaraan tidak hanya dapat digunakan dengan metode Mamdani tetapi dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode Sugeno. Metode Sugeno merupakan salah satu metode pada Fuzzy Inference System yang hamper serupa dengan metode Mamdani. Metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985, sehingga metode ini sering disebut juga dinamakan dengan metode TSK. Tujuan membandingkan antara metode Mamdani dan metode Sugeno adalah untuk melihat hasil yang didapat oleh masing-masing metode, apakah sama, mendekati atau jauh sehingga dapat diketahui metode mana yang lebih akurat dan layak digunakan untuk menentukan Kecepatan kendaraan [3].

Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (intelligent control). Unit logika fuzzy memiliki realibity yang mampu menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks dan memiliki ketidakpastian [4]. Pendekatan FL mengimitasi cara pikir manusia dimana mereka dapat memilih antara YA atau TIDAK. Logika konvensional adalah dimana suatu pilihan hanya dapat didefinisikan antara YA atau TIDAK [5]. Pengendali logika fuzzy memiliki unjuk kerja sangat baik dibandingkan dengan sistem kontroler PID. Berbeda dengan sistem control biasa, keluaran yang dihasilkan diolah dan didefinisikan secara pasti atau dengan istilah lain hanya mengenal logika '0' dan '1' atau bekerja pada daerah ON dan OFF sehingga didapatkan perubahan yang kasar. Pada sistem logika fuzzy, nilai yang berada antara '0' dan '1' dapat didefinisikan, sehingga kontroler dapat bekerja seperti sistem syaraf manusia yang bisa merasakan lingkungan eksternalnya, yakni "kurang", "agak", "biasa", dan "sangat" [6]. Kontroler yang berbasis logika fuzzy harus melalui beberapa tahapan sebelum sampai ke plant. Tahapan-tahapan tersebut kuantisasi, fuzzifikasi, penentuan rule base dan inference (reasoning), kemudian defuzzifikasi. Metode sistem inferensi fuzzy (Fuzzy Inference System/FIS) yang dikenal antara lain metode: Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto [7].

Metode Mamdani paling sering digunakan dalam aplikasi-aplikasi karena strukturnya yang sederhana, yaitu menggunakan operasi MIN-MAX atau MAX-PRODUCT. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan berikut. (1) Fuzzifikasi, (2) Pembentukan basis pengetahuan Fuzzy (rule dalam bentuk IF...THEN), (3) Aplikasi fungsi implikasi menggunakan fungsi

MIN dan Komposisi antar-rule menggunakan fungsi MAX (menghasilkan himpunan fuzzy baru), (4) Defuzzifikasi menggunakan metode Centroid [8].

Penalaran dengan metode output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Michio Sugeno mengusulkan penggunaan singleton sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen. Singleton adalah sebuah himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan pada titik tertentu mempunyai sebuah nilai dan 0 di luar titik tersebut. Pada metode Sugeno dua bagian pertama dari proses penarikan kesimpulan fuzzy, fuzzifikasi input dan menerapkan operator fuzzy semua sama dengan metode Mamdani. Perbedaan utama antara metode Mamdani dan Sugeno adalah output membership function dari metode Sugeno berbentuk linier atau konstan [9].

A. Analisis Rules

Berikut merupakan rules dari simulasi kontrol Kecepatan kereta api dengan logika fuzzy metode mamdani dan sugeno.

Rules dengan logika fuzzy metode mamdani :

1. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Kecepatan maksimal) (1)
2. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Cepat) (1)
3. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Agak cepat) (1)
4. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Cepat) (1)
5. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Agakcepat) (1)
6. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Sedang) (1)
7. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Agakcepat) (1)
8. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Sedang) (1)
9. If (Kelas Jalan is Lurus) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Perlahan) (1)
10. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Cepat) (1)

11. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Agakcepat) (1)
12. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Sedang) (1)
13. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Agakcepat) (1)
14. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Sedang) (1)
15. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Perlahan)
16. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Sedang) (1)
17. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Perlahan) (1)
18. If (Kelas Jalan is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Agaklambat) (1)
19. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Sedang) (1)
20. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Perlahan) (1)
21. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is cerah) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Agaklambat) (1)
22. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Perlahan) (1)
23. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Agaklambat) (1)
24. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is rintikrintik) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Lambat) (1)
25. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is jauh) then (Kecepatan is Agak lambat) (1)
26. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is Lambat) (1)
27. If (Kelas Jalan is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is Sangat lambat) (1)

Rules dengan logika fuzzy metode sugeno :

1. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 1) (1)
2. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 1) (1)
3. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 1) (1)
4. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 1) (1) (1)
5. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 1)
6. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 1)
7. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 1) (1)
8. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 1) (1)
9. If (Kondisi Rel is Lurus) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 1) (1)
10. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 2) (1)
11. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 2) (1)
12. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 2) (1)
13. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 2) (1)
14. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 2) (1)
15. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 2) (1)
16. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 2) (1)
17. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 2) (1)

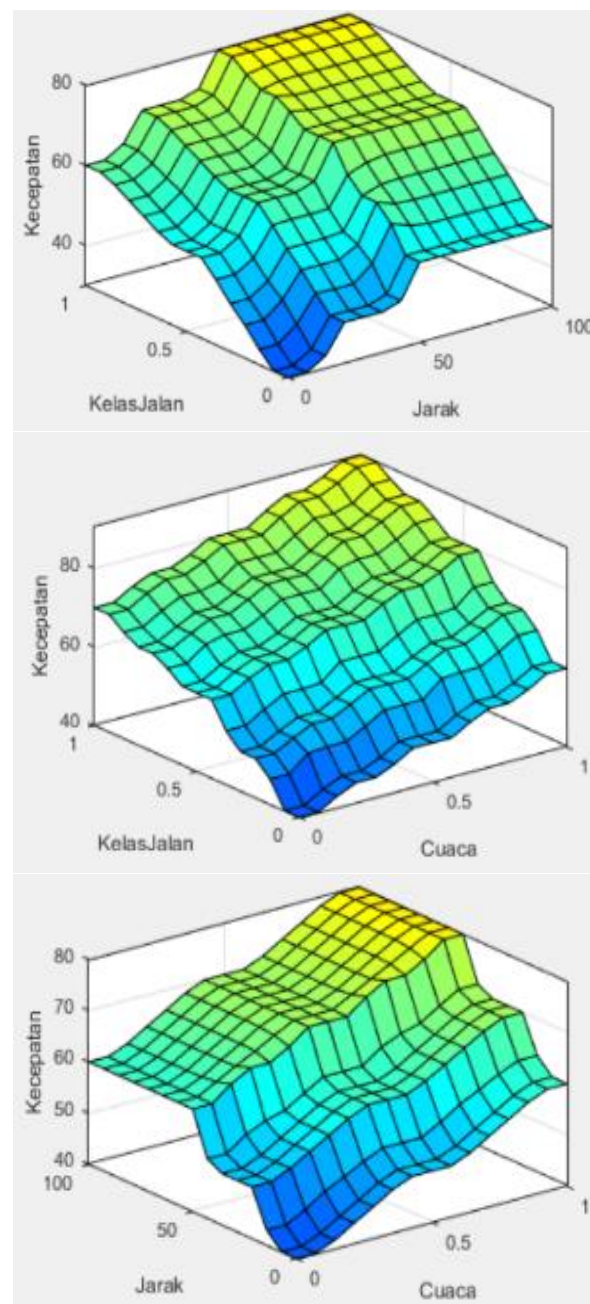
18. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 2) (1)
19. If (Kondisi Rel is Tikungan Ringan) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 2) (1)
20. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 3) (1)
21. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 3) (1)
22. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Hujan) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 3) (1)
23. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 3) (1)
24. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 3) (1)
25. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Gerimis) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 3) (1)
26. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Dekat) then (Kecepatan is 3) (1)
27. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Sedang) then (Kecepatan is 3) (1)
28. If (Kondisi Rel is Tikungan Tajam) and (Cuaca is Cerah) and (Jarak is Jauh) then (Kecepatan is 3) (1)

B. Analisis Surface

Berikut merupakan surface dari simulasi kontrol Kecepatan kereta api dengan logika fuzzy metode mamdani dan sugeno. Pada **Gambar 10** diatas merupakan hasil surface dari rule yang dibuat pada logika fuzzy mamdani. Dari hasil gambar diatas variabel kelas jalan terlihat lebih berpengaruh terhadap output Kecepatan kereta dibandingkan variable input jarak dan Cuaca. Untuk jarak dan Cuaca sendiri terlihat mempunyai pengaruh yang mirip terhadap Kecepatan kereta.

Pada **Gambar 11** diatas merupakan hasil surface dari rule yang dibuat pada logika fuzzy sugeno. Dari hasil surface diatas dapat dilihat bahwa variable Kondisi Rel memiliki pengaruh yang besar terhadap output Kecepatan kereta. Sedangkan untuk jarak dan Cuaca maka variabel jarak yang memiliki pengaruh lebih besar dari Cuaca pada output Kecepatan kereta.

Surface dengan logika fuzzy metode mamdani, ditunjukkan pada Gambar 10:

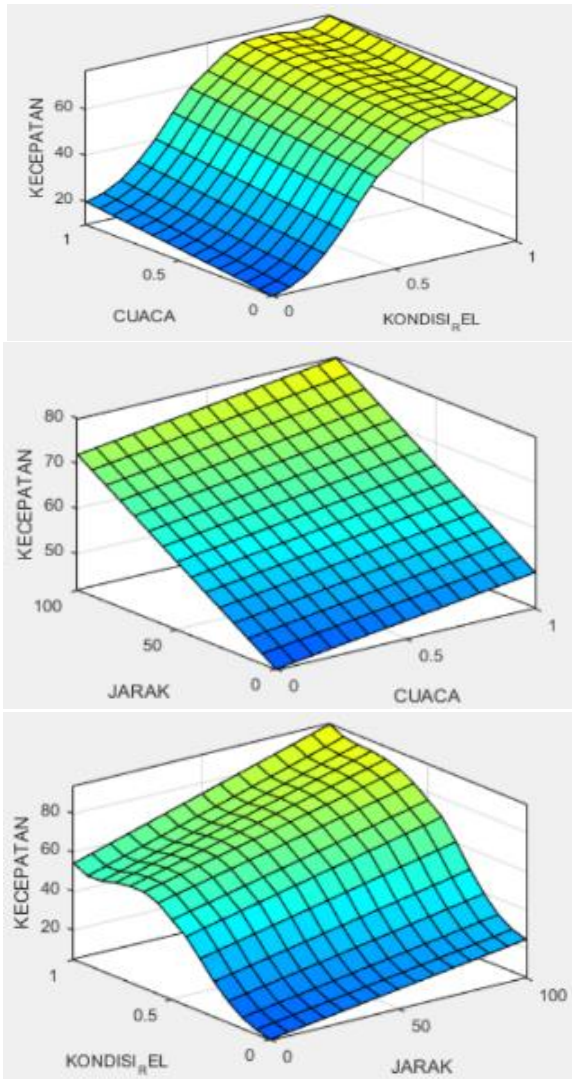


Gambar 10. Surface Metode Mamdani

C. Perbandingan Output Kecepatan Metode Mamdani dan Sugeno

Pengujian sistem dilakukan dengan melihat respon sistem terhadap fungsi Kecepatan. Selama selang waktu tertentu akan diamati respon sistem terhadap Kecepatan pada berbagai kondisi input yang diberikan.

Surface dengan logika fuzzy metode sugeno, ditunjukkan pada **Gambar 11**:



Gambar 11. Surface Metode Sugeno

Tabel IX. Perbandingan Output Kecepatan Metode Mamdani Dan Sugeno

No	Kondisi input			Output	
	Kondisi rel	Cuaca	Jarak kereta ke stasiun	Kecepatan (Mamdani)	Kecepatan (Sugeno)
1	Lurus (1)	Cerah (1)	Jauh (100)	92.5	97
2	Lurus (1)	Cerah (1)	Sedang (50)	90.9	77
3	Lurus (1)	Cerah (1)	Dekat (20)	80	65
4	Lurus (1)	Gerimis (0.7)	Jauh (100)	84.1	95.5
5	Lurus (1)	Gerimis (0.7)	Sedang (50)	85.9	75.5
6	Lurus (1)	Gerimis (0.7)	Dekat (20)	73.4	63.5
7	Lurus (1)	Hujan (0.3)	Jauh (100)	76.6	93.5

No	Kondisi input	Output	No	Kondisi input	Output
8	Lurus (1)	Hujan (0.3)	Sedang (50)	75	73.5
9	Lurus (1)	Hujan (0.3)	Dekat (20)	66.6	61.3
10	Tikungan Ringan (0.5)	Cerah (1)	Jauh (100)	80	80
11	Tikungan Ringan (0.5)	Cerah (1)	Sedang (50)	80	65
12	Tikungan Ringan (0.5)	Cerah (1)	Dekat (20)	70	56
13	Tikungan Ringan (0.5)	Gerimis (0.7)	Jauh (100)	73.4	77.6
14	Tikungan Ringan (0.5)	Gerimis (0.7)	Sedang (50)	75	62.6
15	Tikungan Ringan (0.5)	Gerimis (0.7)	Dekat (20)	63.4	53.6
16	Tikungan Ringan (0.5)	Hujan (0.3)	Jauh (100)	66.6	74.4
17	Tikungan Ringan (0.5)	Hujan (0.3)	Sedang (50)	65	59.4
18	Tikungan Ringan (0.5)	Hujan (0.3)	Dekat (20)	56.6	50.4
19	Tikungan Tajam (0.3)	Cerah (1)	Jauh (100)	72.7	55.7
20	Tikungan Tajam (0.3)	Cerah (1)	Sedang (50)	70	42.3
21	Tikungan Tajam (0.3)	Cerah (1)	Dekat (20)	62.7	34.3
22	Tikungan Tajam (0.3)	Gerimis (0.7)	Jauh (100)	66	53.1
23	Tikungan Tajam (0.3)	Gerimis (0.7)	Sedang (50)	65	39.7
24	Tikungan Tajam (0.3)	Gerimis (0.7)	Dekat (20)	56	31.7
25	Tikungan Tajam (0.3)	Hujan (0.3)	Jauh (100)	58.1	49.6
26	Tikungan Tajam (0.3)	Hujan (0.3)	Sedang (50)	55	36.3
27	Tikungan Tajam (0.3)	Hujan (0.3)	Dekat (20)	48.1	28.3

D. Hasil

Dari tabel dapat dilihat bahwa sistem dapat menyesuaikan batas Kecepatan maksimal kendaraan tergantung pada kondisi masukan pada sistem. Pada kondisi 1 pada tabel batas Kecepatan maksimal dapat dibandingkan bahwa Kecepatan yang didapatkan menggunakan metode fuzzy mamdani, yaitu 92,5 km/jam dan menggunakan metode fuzzy sugeno, yaitu 97 km/jam masih di bawah batas aturan pemerintah. Batas Kecepatan pada rangkaian kereta diberi kodefikasi tersendiri pada bagian body kereta. Mulai dari batas Kecepatan 45 km/jam hingga 120 km/jam. Ini tergantung dari lintasan kereta api itu sendiri. Jika melewati jalur utara yang memiliki tikungan sedikit, Kecepatan kereta api bisa sampai 100 atau 120 km/jam pada Kondisi RelLurus [10].

Pada penggunaan metode fuzzy mamdani Kondisi Rel Tikungan Tajam data ke- 19 sampai 23, Kecepatan kereta api melebihi ambang batas Kondisi RelTikungan Tajam, yaitu 60 km/jam. Pada penggunaan metode fuzzy sugeno hasil output lebih sensitif terhadap Kondisi Reldan jarak kereta ke stasiun karena pada output metode fuzzy sugeno bobot Kondisi Reldan jarak kereta ke stasiun lebih besar daripada kondisi Cuaca. Kecepatan kereta api tidak melebihi ambang batas kondisi rel.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Pembatasan Kecepatan pada kereta api dapat dilakukan dengan menggunakan sistem fuzzy dengan metode mamdani dan sugeno. Pada tabel

batas Kecepatan maksimal dengan metode fuzzy mamdani melebihi ambang batas Kecepatan kereta api pada Kondisi ReltikunganTajam pada data ke- 19 sampai 23, yaitu 60 km/jam. Pada tabel batas Kecepatan maksimal dengan metode fuzzy sugeno Kecepatan kereta api tidak melebihi ambang batas kondisi rel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buku Statistik Bidang Pengeretaapian Semester 1 Tahun 2021 Dirjen Perkeretaapian Kementrian Perhubungan
- [2] Sumarta Coonery Sean. "Simulasi Kontrol Kecepatan Kendaraan dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani pada Berbagai Keadaan". *Jurnal Tematika* Vol.1 No.2, September 2013.
- [3] Hasibuan, Yoakim Marinus, Nilamsari Kusumastuti, dan Beni Irawan. "Pengendalian Kecepatan Kendaraan Roda Empat Dengan Menggunakan Fuzzy Inference System Metode Mamdani". Vol 03 No. 1, 2014.
- [4] P. Sutawiyana. "Pengembangan Model Fuzzy Mamdani untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Metode Control Filed Oriented". *Jurnal LOGIC* Vol. 13 No. 2, Jul 2013.
- [5] Ashari, Alva Brisbananda. "Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode Field Orientation Control (FOC) Berbasis Fuzzy-PID". *Jurnal Teknik Elektro*, Volume 9 No. 03, 2020.
- [6] Y. Chen, B. Yang, A. Abraham, dan L. Peng. "Automatic and Design of Hierarchical takagi-sugeno type fuzzy systems. Vol 15 No. 3, Jun 2007.
- [7] Husnawan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Logika Fuzzy". Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jan. 2008.
- [8] Nasir, Januardi dan Johnson Suprianto. "Analisis Fuzzy Logic Menentukan Pemilihan Motor Honda Dengan Metode Mamdani". Program Studi Teknik Informatika Universitas Putera Batam, 2017.
- [9] Hasibuan Ade Zulkarnain, Ilham Faisal, Ratna Simatupang. "Sistem Pengeraman Otomatis Pada Mobil dengan Memanfaatkan Mikrokontroler Menggunakan Fuzzy Sugeno". *Majalah Ilmiah Teknik* Volume 20 Nomor, 1 Nopember 2017.
- [10] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm 69 Tahun 2019 Tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Api Kecepatan Tinggi.