

Analisis Pengerukan Sampah Pada Sungai Kawasan Jakarta Pusat Dengan Sistem Inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno Berbasis Matlab

Annisa Fitria Salsabella

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: annisa.18007@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah, Bambang Suprianto, Muhamad Syariffuddin Zuhrie

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: endryansyah@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id, zuhrie@unesa.ac.id

Abstrak

Menurut Jakarta Open data terdapat rata-rata 995 m³ volume sampah yang diangkut oleh Dinas Lingkungan Hidup Jakarta setiap harinya dari sungai Kawasan Jakarta Pusat. Dikarenakan kesadaran masyarakat untuk tidak membuang sampah di sungai masih rendah. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan simulasi dengan Sistem Inferensi Fuzzy Takagi - Sugeno untuk memprediksi waktu pengerukan sampah yang diangkut oleh satu excavator. Pengumpulan data bersumber dari Jakarta Open Data meliputi nama sungai, kecamatan, wilayah sungai, dan volume sampah di sungai selama 1 bulan. Dengan tahapan seperti Fuzzifikasi, menentukan aturan, defuzzifikasi, dan menghitung nilai MAPE (ukuran akurasi data). Dalam menerapkan sistem inferensi Fuzzy Sugeno pada simulasi penelitian ini, menggunakan 3 Variabel input dengan masing-masing range yang meliputi Volume Sampah perhari (m³) [730 1250], Produktivitas Alat/jam [23,5 108,5], dan Jam Kerja [6,5 9] serta variabel output berupa Waktu Pengerukan Sampah (hari) [3 6]. Nilai MAPE yang didapatkan sebesar 10,6% menunjukkan bahwa prediksi menggunakan Sistem Inferensi Fuzzy Takagi - Sugeno termasuk penilaian Baik. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang di dapatkan dari perbandingan data prediksi waktu pengerukan sampah secara manual dengan data perhitungan menggunakan Matlab sebagai penentu akurasi perkiraan data yang diteliti. Sistem Inferensi Fuzzy Takagi - Sugeno dapat memperkirakan waktu pengerukan sampah yang dapat diangkut oleh satu excavator dengan hasil yang optimal. Hal tersebut, dapat mempermudah pemerintah dalam menentukan jumlah alat berat (excavator) yang dibutuhkan per harinya.

Kata Kunci: Sistem Inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno, Sungai, Sampah, Waktu Pengerukan Sampah, MAPE.

Abstract

According to the Jakarta Open data, there is an average of 995 m³ of the volume of waste transported by the Jakarta Environmental Service every day from the rivers of the Central Jakarta area. This is because public awareness of not throwing garbage in the river is still low. Based on these problems, a simulation with the Fuzzy Inference System Takagi - Sugeno is needed to predict the dredging time of waste transported by one excavator. Data collection sourced from Jakarta Open Data includes the name of the river, sub-district, river area, and volume of waste in the river for 1 month. With stages such as fuzzification, determining rules, defuzzification, and calculating MAPE values (a measure of data accuracy). In applying the Sugeno Fuzzy inference system in this research simulation, using 3 input variables with each range covering the volume of waste per day (m³) [730 1250], Tool Productivity/hour [23,5 108,5], and Working Hours [6,5 9] and the output variable is Waste Dredging Time (day) [3 6]. The MAPE value obtained is 10.6%, indicating that predictions using the Takagi - Sugeno Fuzzy Inference System are considered Good. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) is obtained from the comparison of prediction data for manual dredging time with calculation data using Matlab as a determinant of the accuracy of the estimated data studied. The Takagi - Sugeno Fuzzy Inference System can estimate the dredging time of waste that can be transported by one excavator with optimal results. This can make it easier for the government to determine the number of heavy equipment (excavators) needed per day.

Keywords: Fuzzy Takagi-Sugeno Inference System, River, Waste Dredging Time, MAPE.

PENDAHULUAN

Penumpukan sampah di sungai merupakan masalah umum di lingkungan perkotaan. Menurut Jakarta Open data terdapat rata-rata 995 m^2 volume sampah yang diangkut oleh tenaga kebersihan Dinas Lingkungan Hidup Jakarta setiap harinya dari sungai Kawasan Jakarta Pusat. Dikarenakan kesadaran masyarakat untuk tidak membuang sampah di sungai masih cukup rendah. Terutama warga yang tinggal di sekitar bantaran sungai, mereka lebih banyak yang membuang tepat di bantaran sungai. Membuang sampah ke sungai dapat menimbulkan penumpukan sampah di dasar sungai. Sampah yang menumpuk mengakibatkan penyumbatan endapan benda-benda yang ada di aliran sungai. Oleh karena itu, saat hujan deras, sungai tidak dapat menyediakan tempat air yang cukup untuk mengalir sehingga menyebabkan banjir (Syukur, 2021). Penumpukan sampah juga menyebabkan pencemaran air yang membuat banyak ikan akan mati dan menimbulkan bau yang menyengat (Indrawati, 2011).

Untuk mengatasi permasalahan penimbunan sampah dapat dibantu dengan alat pengeruk sampah berupa excavator yang saat ini ada di setiap gerbang air sekitar Jakarta menjadi titik fokus dalam pengangkutan sampah yang dibawa oleh arus sungai. Namun, penumpukan sampah masih sering terjadi sehingga diperlukan perencanaan khusus berupa jumlah pengadaan alat pengeruk sampah. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan sebuah simulasi untuk memprediksi waktu pengerjaan pengerukan sampah yang dapat diambil oleh satu excavator agar pemerintah mudah dalam menentukan jumlah alat yang akan dikerahkan. Realisasi prediksi pengerjaan pengerukan sampah ini menggunakan sistem inferensi fuzzy Takagi-Sugeno menggunakan Matlab. Penggunaan Sistem Inferensi Fuzzy dalam penelitian ini karena dianggap fleksibel, mudah diimplementasikan dan menjadi pilihan untuk mensimulasikan sistem tersebut agar mendapatkan hasil yang diharapkan. Dengan menggunakan beberapa penentuan variabel yaitu volume sampah perhari, Produktivitas alat/jam, dan jam kerja petugas dari Dinas Sumber Daya Air Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.

Matlab adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman berbasis matriks, analisis, rekayasa, dan perhitungan matematis. Selain itu, Matlab dilengkapi dengan Simulink yang berfungsi dalam pembuktian teori pada simulasi sistem dinamik dimana hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik (Tjoelleng, 2017).

Sedangkan metode Takagi-Sugeno merupakan salah satu metode inferensi fuzzy untuk aturan - aturan yang dinyatakan dalam bentuk IF – THEN, dimana keluaran (output) dari sistem bukanlah himpunan fuzzy, melainkan persamaan konstan atau linier (Kusumadewi, 2002:98).

Pada penelitian sebelumnya, berkaitan dengan pengerukan sampah telah dilakukan oleh Gusti Saputra (2018), yang menggunakan metode mamdani untuk menentukan jumlah kerukan yang akan dilakukan. Sementara itu, sejauh ini belum ditemukan penelitian menggunakan metode fuzzy Sugeno pada prediksi pengerjaan pengerukan sampah di sungai Kawasan Jakarta Pusat.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti tertarik untuk mengambil topik yang berjudul “Analisis Pengerukan Sampah Pada Sungai Kawasan Jakarta Pusat Dengan Sistem Inferensi Fuzzy Sugeno Berbasis Matlab” (Studi Kasus: Penumpukan sampah di Sungai Jakarta)”. Yang bertujuan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan untuk mengeruk sampah oleh satu excavator berdasarkan volume sampah di sungai Kawasan Jakarta Pusat dan menghitung tingkat akurasi sistem tersebut menggunakan perhitungan MAPE.

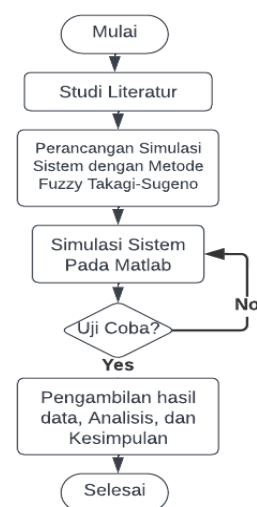
METODE

Pendekatan Penelitian

Pendekatan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif, karena penelitian ini disajikan dengan angka-angka. Hal ini sesuai dengan pendapat (Arikunto 2006: 12) yang mengemukakan penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang banyak dituntut menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan hasilnya. Dalam pengumpulan data banyak menggunakan angka, penafsiran terhadap data yang dikumpulkan serta penampilan dari hasil penelitian.

Rancangan Penelitian

Diagram alir rancangan penelitian pada pengerukan sampah.



Gambar 1 Bagan Rancangan Penelitian

Langkah awal dalam diagram alir tersebut adalah studi literatur dari beberapa referensi seperti e-book, jurnal, dan skripsi. Langkah kedua yaitu perancangan simulasi pengerukan sampah dengan metode Fuzzy Sugeno yang meliputi Fuzzifikasi, penentuan rule, dan defuzzifikasi. Proses selanjutnya adalah melakukan simulasi pengerukan sampah menggunakan MATLAB. Setelah simulasi selesai, penulis dapat melakukan pengambilan data dan menganalisis hasil data tersebut. Dalam menentukan akurasi data tersebut, dilakukan perhitungan nilai MAPE.

Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian, diperlukan adanya pengumpulan sumber tertulis berupa buku, jurnal, dan thesis serta karya ilmiah lainnya. Sehingga informasi yang diperoleh dari studi literatur dapat mengidentifikasi masalah yang ada dan menjadi pijakan dasar terhadap rumusan masalah yang hendak diteliti.

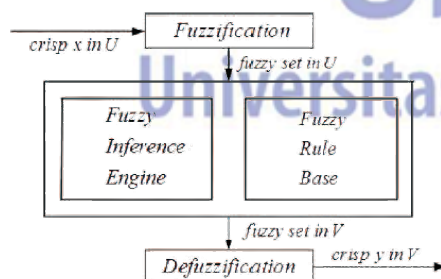
Perancangan Simulasi Pengerukan Sampah dengan Metode Fuzzy Takagi-Sugeno

Pengumpulan Data

Pengumpulan data awal bersumber dari Portal Data Terpadu Pemprov DKI Jakarta tahun 2021 meliputi nama sungai, kecamatan, wilayah sungai, dan volume sampah selama 1 bulan. Serta data nama Excavator yang digunakan berasal dari Portal Data Dinas Sumber Daya Air DKI Jakarta.

Perancangan sistem Inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno

Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Takagi-Sugeno orde-nol yang akan dihitung secara manual dan menggunakan Matlab 2019a. Berdasarkan metode Fuzzy tersebut, ada 4 tahapan untuk memperoleh output dari Fuzzy Takagi-Sugeno (Agustin, Gandhiadi, dan Oka, 2016).



Gambar 2 Tahapan Inferensi Fuzzy
(Sumber: Lee, 1990)

- Fuzzifikasi* adalah proses perubahan himpunan crisp (tegas) menjadi himpunan fuzzy yang sesuai.
- Rule base* (Basis aturan) sebagai alat yang memuat aturan-aturan berupa implikasi fuzzy, yang dirumuskan pada persamaan 1.

Model Fuzzy Sugeno Orde-Nol

Secara umum rumus fuzzy Sugeno Orde-Nol

$$IF (x_1 \text{ is } A_1)^\circ (x_2 \text{ is } A_2)^\circ \dots (x_n \text{ is } A_n) \quad (1) \\ THEN z = k$$

Keterangan

A_i = himpunan fuzzy ke- i sebagai anteseden

K = suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

- Fuzzy Inference Engine* adalah inti dari FLC; ia memiliki kemampuan mensimulasikan pengambilan keputusan manusia berdasarkan konsep fuzzy dan menyimpulkan tindakan kontrol fuzzy menggunakan implikasi fuzzy dan aturan inferensi dalam logika fuzzy.
- Defuzzifikasi merupakan langkah terakhir dalam Defuzzifikasi pada Metode Sugeno dengan perhitungan *Weight Average*

$$WA = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3 + \dots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n} \quad (2)$$

Keterangan

α_n = nilai predikat aturan ke - n

z_n = indeks nilai konstanta ke - n

Dalam membuktikan akurasi sistem Inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno dapat dihitung dengan rumus MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) (Astuti dan Mashuri, 2020). MAPE dirumuskan sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - F_t}{x_t} \right|}{n} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan

x_t = nilai aktual amatan ke - i

F_t = nilai perkiraan ke - i

n = banyaknya data

Tingkat Akurasi Nilai MAPE

- $MAPE \leq 10\%$ = Sangat Baik
- $10\% - 20\%$ = Baik
- $20\% - 50\%$ = Cukup
- $MAPE \geq 50\%$ = Buruk

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Jumlah Pengerukan Sampah

Data sekunder dalam penelitian berupa data sekunder yang hanya terdiri dari data wilayah sungai, volume sampah/hari dari masing-masing sungai, nama excavator yang digunakan. Dengan data-data tersebut, kemudian peneliti menggunakan Microsoft Excel 2016 untuk mengolah data sehingga didapatkan data vol. sampah/hari, produktivitas alat/jam, dan jam kerja, serta prediksi waktu pengerukan sampah pada data bulan Januari 2021 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data bulan Januari 2021
(Sumber: Portal Data Terpadu Pemprov DKI Jakarta, 2021)

Tgl	Vol. Sampah/hari	Produktivitas Alat/jam (m ³ /jam)	Jam kerja (jam)	Prediksi Waktu pengerukan sampah (hari)
01/01/21	731	23,625	8	3,9
02/01/21	954	37,8	7	3,6
03/01/21	731	23,625	7	4,4
04/01/21	912	23,625	7	5,5
05/01/21	915	23,625	7	5,5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26/01/21	1243	108,47	7	1,6
27/01/21	1168	108,47	7	1,5
28/01/21	1031	108,47	7	1,4
29/01/21	1051	108,47	8	1,2
30/01/21	1044	108,47	7	1,4
31/01/21	840	23,625	7	5,1

Fuzzifikasi

Simulasi ini menetapkan 3 *input* dan 1 *output* dan menentukan semesta pembicaraan dan domain dengan mengambil nilai minimal dan maksimal dari variabel *input* maupun *output* dapat disajikan dari Tabel 2.

Tabel 2 Himpunan Fuzzy, Semesta Pembicaraan, dan Domain

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
input	Vol.Sampah /hari [x]	Sedikit	[730 1250]	[730 990]
		Banyak		[990 1250]
	Produktivitas Alat/jam [y]	Kecil	[23.5 108.5]	[23.5 66]
		Besar		[66 108.5]
	Jam kerja [Z]	Normal	[6.5 9]	[6.5 7.75]
		Lama		[7.75 9]
Output	Waktu Pengerukan Sampah [V]	Pendek	[3 6]	[3 4,5]
		Panjang		[4,5 6]

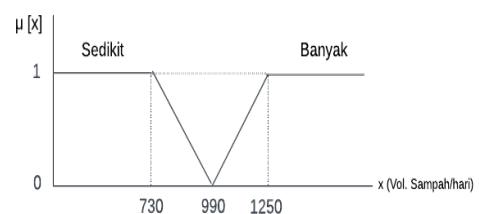
Langkah berikutnya menentukan fungsi keanggotaan setiap variable, dan menghitung nilai derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan yang ada.

a. Fungsi Keanggotaan dari Volume Sampah/hari [x]

$$\mu_{\text{sampah sedikit}}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 730 \\ \frac{990-x}{990-730}, & 730 \leq x \leq 990 \\ 0, & x \geq 990 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{sampah banyak}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 990 \\ \frac{x-990}{1250-990}, & 990 \leq x \leq 1250 \\ 1, & x \geq 1250 \end{cases} \quad (5)$$

Variabel x (Vol.sampah/hari) dibagi menjadi dua himpunan *fuzzy* yaitu sedikit dan banyak yang direpresentasikan dengan bentuk kurva bahu kiri untuk himpunan *fuzzy* sedikit dan kurva bahu kanan untuk himpunan *fuzzy* banyak. Kurva Himpunan Fuzzy Volume Sampah/hari ditunjukkan pada Gambar 3.



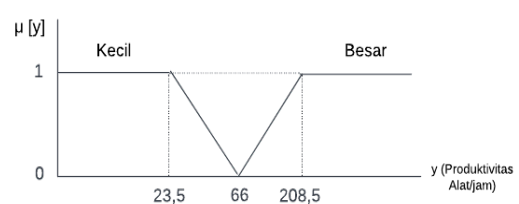
Gambar 3 Kurva Himpunan Fuzzy Volume Sampah/hari

b. Fungsi Keanggotaan dari Variabel Produktivitas Alat/jam [y]

$$\mu_{\text{produktivitas kecil}}[y] = \begin{cases} 1, & y \leq 23,5 \\ \frac{66-y}{66-23,5}, & 23,5 \leq y \leq 66 \\ 0, & y \geq 66 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{produktivitas besar}}[y] = \begin{cases} 0, & y \leq 66 \\ \frac{y-66}{108,5-66}, & 66 \leq y \leq 108,5 \\ 1, & y \geq 108,5 \end{cases} \quad (7)$$

Pada variabel y (Produktivitas Alat/jam) dibagi menjadi dua himpunan *fuzzy* yaitu kecil dan besar yang direpresentasikan dengan bentuk kurva bahu kiri untuk himpunan *fuzzy* kecil dan kurva bahu kanan untuk himpunan *fuzzy* besar. Kurva Himpunan Fuzzy Variabel Produktivitas Alat/jam ditunjukkan pada Gambar 4.



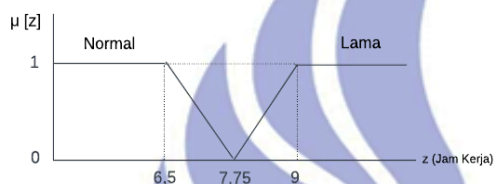
Gambar 4 Kurva Himpunan Fuzzy Variabel Produktivitas Alat/jam

c. Fungsi Keanggotaan dari Variabel Jam Kerja [z]

$$\mu_{jam\ kerja\ normal}[z] = \begin{cases} 1, & z \leq 6,5 \\ \frac{7,75-y}{7,75-6,5}, & 6,5 \leq z \leq 7,75 \\ 0, & z \geq 7,75 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{jam\ kerja\ lama}[z] = \begin{cases} 0, & z \leq 66 \\ \frac{y-7,75}{9-7,75}, & 7,75 \leq z \leq 9 \\ 1, & z \geq 9 \end{cases} \quad (9)$$

Variabel z (Jam Kerja) dibagi menjadi dua himpunan fuzzy yaitu normal dan lama yang direpresentasikan dengan bentuk kurva bahu kiri untuk himpunan fuzzy normal dan kurva bahu kanan untuk himpunan fuzzy lama. Kurva Himpunan Fuzzy Variabel Jam Kerja pada Gambar 5.



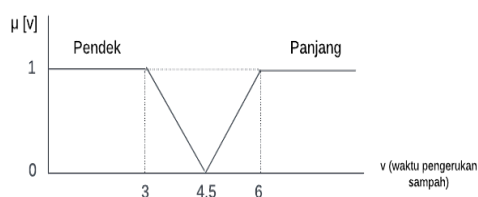
Gambar 5 Kurva Himpunan Fuzzy Variabel Jam Kerja

d. Fungsi Keanggotaan dari Variabel Waktu Pengerukan Sampah [v]

$$\mu_{waktu\ pendek}[v] = \begin{cases} 1, & v \leq 3 \\ \frac{4,5-v}{4,5-3}, & 3 \leq v \leq 4,5 \\ 0, & v \geq 4,5 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{waktu\ panjang}[v] = \begin{cases} 0, & v \leq 4,5 \\ \frac{z-4,5}{6-4,5}, & 4,5 \leq v \leq 6 \\ 1, & v \geq 6 \end{cases} \quad (11)$$

Pada variabel v (waktu pengerukan sampah) dibagi menjadi dua himpunan fuzzy yaitu pendek dan panjang yang direpresentasikan dengan bentuk kurva bahu kiri untuk himpunan fuzzy pendek dan kurva bahu kanan untuk himpunan fuzzy panjang. Kurva Himpunan Fuzzy Waktu Pengerukan Sampah ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva Himpunan Fuzzy Waktu Pengerukan Sampah

Pembentukan Basis Aturan

Tahap ini memuat aturan-aturan berupa implikasi fuzzy, dengan ketentuan 2^n (n = jumlah variable input) dimana simulasi ini memiliki 3 Input. Maka rule base = $2^3 = 8$ aturan yang akan ditampilkan. Selanjutnya, mencari bentuk perulangan keruk dengan rumus Metode Fuzzy Sugeno Orde Nol seperti persamaan (1). Untuk mendapatkan nilai *konsekuensi* menggunakan perhitungan rata-rata jumlah pengeruk sampah per hari. Sehingga, pembentukan aturan dapat ditampilkan ada Tabel 3.

Tabel 3 Aturan Fuzzy

Aturan Fuzzy	Vol. Sampah / hari	Produktivitas Alat/jam (m ³ /hari)	Jam kerja (jam)	Waktu Pengerukan Sampah
Rule 1 [R1]	Sedikit	Kecil	Normal	Pendek
Rule 2 [R2]	Sedikit	Kecil	Lama	Pendek
Rule 3 [R3]	Sedikit	Besar	Normal	Panjang
Rule 4 [R4]	Sedikit	Besar	Lama	Panjang
Rule 5 [R5]	Banyak	Kecil	Normal	Pendek
Rule 6 [R6]	Banyak	Kecil	Lama	Pendek
Rule 7 [R7]	Banyak	Besar	Normal	Panjang
Rule 8 [R8]	Banyak	Besar	Lama	Panjang

Selanjutnya, menghitung nilai K sesuai persamaan (1) dengan menghitung rata-rata waktu pengerukan sampah. berdasarkan data yang telah dikelompokkan pada aturan fuzzy yang telah ditetapkan, maka didapatkan hasil aturan fuzzy dan konstantanya sebagai berikut.

[R1] IF Vol. Sampah Sedikit AND Produktivitas Alat Kecil AND Jam Kerja Normal THEN Waktu Pengerukan Sampah = 5

[R2] IF Vol. Sampah Sedikit AND Produktivitas Alat Kecil AND Jam Kerja Lama THEN Waktu Pengerukan Sampah = 4

[R3] IF Vol. Sampah Banyak AND Produktivitas Alat Besar AND Jam Kerja Normal THEN Waktu Pengerukan Sampah = 0

[R4] IF Vol. Sampah Banyak AND Produktivitas Alat Besar AND Jam Kerja Lama THEN Waktu Pengerukan Sampah = 0

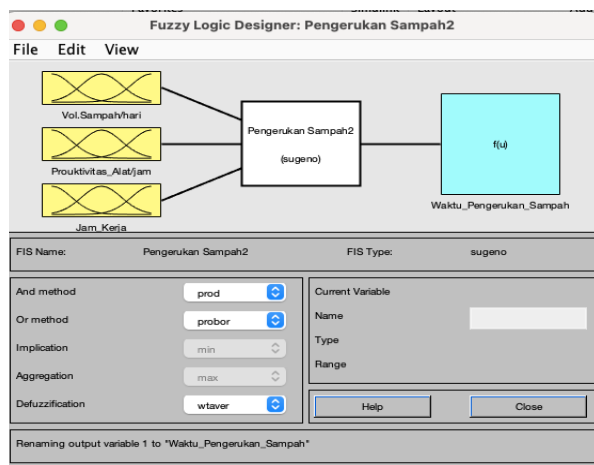
[R5] IF Vol. Sampah Sedikit AND Produktivitas Alat Kecil AND Jam Kerja Normal THEN Waktu Pengerukan Sampah = 3,5

[R6] IF Vol. Sampah Sedikit AND Produktivitas Alat Kecil AND Jam Kerja Lama THEN Waktu Waktu Pengerukan Sampah = 1,5

[R8] IF Vol. Sampah Banyak AND Produktivitas Alat Besar AND Jam Kerja Lama THEN Waktu Pengerukan Sampah = 1

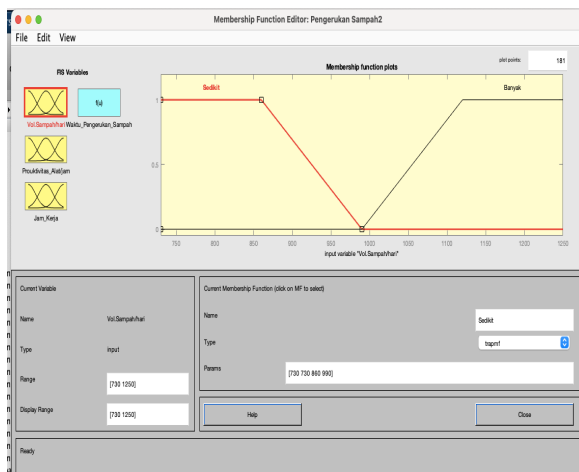
Implementasi Program dengan Matlab

Membentuk variabel fuzzy dengan 3 *input* yang berwarna kuning yaitu : volume sampah perhari, produktivitas alat/jam, dan jam kerja yang digunakan dan variabel *output* yang berwarna biru meliputi ; Prediksi waktu pengerukan Sampah.



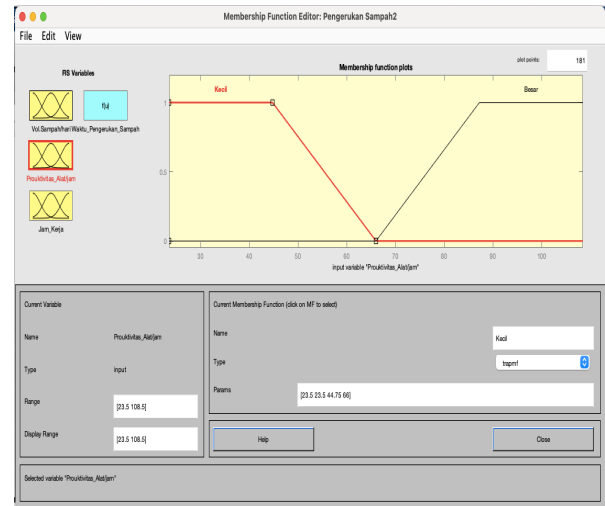
Gambar 7 Pembentukan Variabel dalam Aplikasi Matlab

Tahap berikutnya, membentuk himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan dengan cara memasukkan nilai semesta pembicaraan pada Himpunan fuzzy (Sampah sedikit dan sampah banyak) dengan range [730 1250], tipe trapmf dan parameter sampah sedikit [730 730 860 990], sedangkan parameter sampah banyak [990 1120 1250 1250]. Fungsi keanggotaan input volume sampah/hari ditampilkan pada Gambar 8.



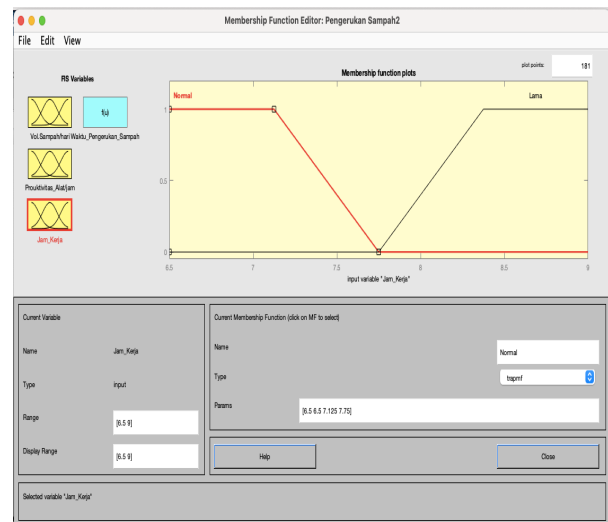
Gambar 8 Fungsi Keanggotaan Input Volume Sampah perhari

Produktivitas Alat/jam mempunyai himpunan *fuzzy* kecil dan besar dengan range [23,5 108,5], tipe trapmf dan parameter kapasitas bucket kecil [23,5 23,5 44,75 66], sedangkan parameter kapasitas bucket besar [66 87,25 108,5 108,5]. Fungsi keanggotaan input produksi galian/hari ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Fungsi Keanggotaan Input Produksi Galian/hari

Jam Kerja memiliki himpunan *fuzzy* kecil dan besar dengan range [6,5 9], tipe trapmf dan parameter kapasitas bucket kecil [6,5 6,5 7,125 7,75], sedangkan parameter kapasitas bucket besar [7,75 8,375 9 9]. Fungsi keanggotaan input jam kerja ditunjukkan pada Gambar 10.

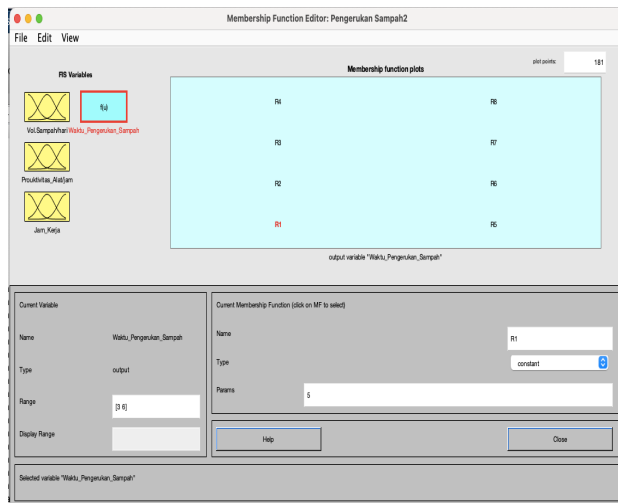


Gambar 10 Fungsi Keanggotaan Input Jam Kerja

Variabel output (waktu pengerukan sampah) mempunyai himpunan *fuzzy* pendek dan himpunan fuzzy panjang dengan range [3 6], tipe variabel constant terbagi menjadi 8 fungsi keanggotaan terdiri dari R1 (Rule 1) dengan parameter [5], R2 (Rule 2) dengan parameter [4], R3 (Rule 3) dengan parameter [0], R4 (Rule 4) dengan parameter [0], R5 (Rule 5) dengan parameter [3,5], R6 (Rule 6) dengan parameter [3], R7 (Rule 7) dengan

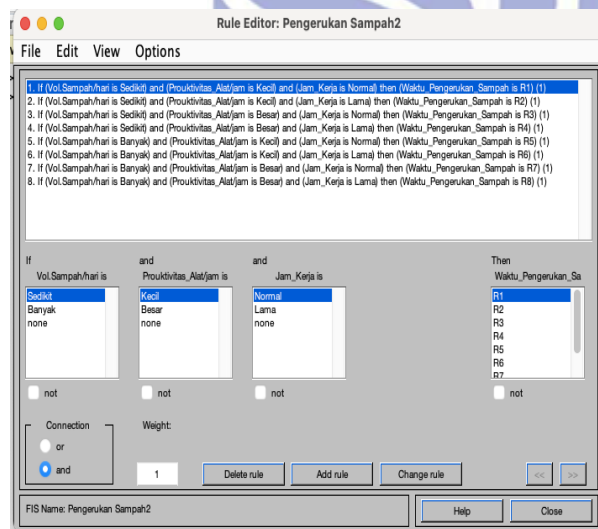
Analisis Pengerukan Sampah Pada Sungai Kawasan Jakarta Pusat Dengan Sistem Inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno Berbasis Matlab

parameter [1,5], dan R8 (Rule 8) dengan parameter [1], seperti yang disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11 Fungsi Keanggotaan Output Waktu Pengerukan Sampah

Tahap berikutnya yaitu menyusun basis aturan fuzzy yang sudah ditetapkan dalam rule editor Matlab sejumlah delapan aturan.. Berikut aturan fuzzy dapat ditampilkan pada jendela *rule editor* di matlab pada Gambar 12.



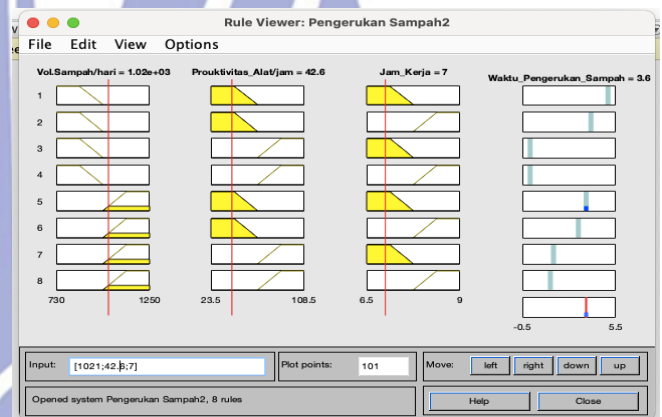
Gambar 12 Basis Aturan Fuzzy berdasarkan variabel linguistik

Berdasarkan aturan fuzzy yang ada diperoleh defuzzifikasi pada *rule view*. dengan menginput data Vol.sampah/hari, Produktivitas alat/jam, dan jam kerja seperti pada Tabel 1 maka akan diketahui berapa waktu yang dibutuhkan untuk mengeruk sampah. Misal, data tanggal 1 Januari 2021 *input* vol.sampah sebanyak 731 m^3 , produktivitas alat/jam sebesar 23,6 m^3 , dan jam kerja sebanyak 8 jam maka *output* waktu pengerukan sampah oleh sistem fuzzy Sugeno sebanyak 3,9 hari, yang ditampilkan jendela *rule view* pada Gambar 13.



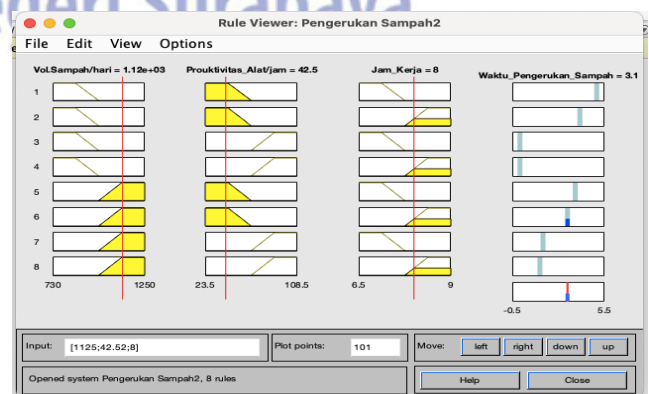
Gambar 13 Rule View (Defuzzifikasi) pada data 1 Januari 2021

Sedangkan tanggal 14 Januari *input* vol.sampah sebanyak 1021 m^3 , produktivitas alat/jam sebesar 42,5 m^3 , dan jam kerja sebanyak 7 jam maka *output* waktu pengerukan sampah oleh sistem fuzzy Sugeno sebanyak 3,6 hari ditunjukkan gambar 14.



Gambar 14 Rule View (Defuzzifikasi) pada data 14 Januari 2021

Pada tanggal 15 Januari *input* vol.sampah sebanyak 1021 m^3 , produktivitas alat/jam sebesar 1125 m^3 , dan jam kerja sebanyak 8 jam maka *output* waktu pengerukan sampah oleh sistem fuzzy Sugeno sebanyak 3,1 hari ditunjukkan Gambar 15.



Gambar 15 Rule View (Defuzzifikasi) pada data 15 Januari 2021

Berikut hasil perhitungan menggunakan Matlab yang ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4 Hasil perhitungan Fuzzy Sugeno menggunakan Matlab

Tgl	Prediksi Waktu Pengerukan Sampah (Manual)	Prediksi Waktu Pengerukan Sampah (Fuzzy Matlab)
01/01/21	3,9	3,9
02/01/21	3,6	5,0
03/01/21	4,4	5,0
04/01/21	5,5	5,0
05/01/21	5,5	5,0
.	.	.
.	.	.
.	.	.
26/01/21	1,6	1,5
27/01/21	1,5	1,5
28/01/21	1,4	1,5
29/01/21	1,2	1,3
30/01/21	1,4	1,5
31/01/21	5,1	5,0

Evaluasi

Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan dengan Matlab menggunakan persamaan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), sesuai dengan persamaan (3). Perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Perhitungan Nilai MAPE

Tgl	Prediksi Waktu Pengerukan Sampah (Manual)	Prediksi Waktu Pengerukan Sampah (Fuzzy Matlab)	$\left[\frac{x_t - F_t}{x_t} \right] \times 100 \%$
01/01/21	3,9	3,9	0,8
02/01/21	3,6	5	38,7
03/01/21	4,4	5	13,1
04/01/21	5,5	5	9,3
05/01/21	5,5	5	9,6
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
26/01/21	1,6	1,5	8,4
27/01/21	1,5	1,5	2,5
28/01/21	1,4	1,5	10,5
29/01/21	1,2	1,3	7,3
30/01/21	1,4	1,5	9,1
31/01/21	5,1	5	1,6
		MAPE	10,6 %

Menurut tabel 5, nilai MAPE yang didapatkan sebesar 10,6% menunjukkan bahwa perkiraan atau prediksi menggunakan metode sistem inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno termasuk penilaian Baik, dan membuktikan metode Fuzzy Takagi-Sugeno mampu digunakan untuk membantu menentukan banyaknya alat yang akan diperlukan pemerintah untuk mengangkut sampah dari sungai ke TPA berdasarkan waktu pengerukan sampah oleh satu excavator.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil simpulan pertama, dalam menerapkan sistem inferensi Fuzzy Sugeno pada simulasi penelitian ini, menggunakan 3 Variabel input dengan masing-masing range yang meliputi Volume Sampah perhari [730 1250], Produktivitas Alat/jam yang digunakan [23,5 108,5], dan Jam Kerja [6.5 9] serta variabel output berupa Waktu Pengerukan Sampah [3 6].

Kedua, hasil *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang di dapatkan dari perbandingan data prediksi waktu pengerukan sampah manual dengan data perhitungan menggunakan Matlab sebagai penentu akurasi perkiraan data yang diteliti. Metode Fuzzy Takagi-Sugeno dapat memperkirakan waktu pengerukan sampah yang dapat dilakukan oleh satu excavator dengan hasil yang optimal, dibuktikan dengan hasil MAPE yang diperoleh sebesar 10,6% atau akurasi Baik. Hal tersebut, dapat mempermudah pemerintah dalam menentukan jumlah alat berat (excavator) yang dibutuhkan per harinya.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran dari penulis adalah pengembangan dalam simulasi dengan menggunakan metode sistem inferensi fuzzy yang lain seperti metode Fuzzy Tsukamoto ataupun melakukan perbandingan antara dua metode fuzzy agar menemukan tingkat akurasi yang lebih tinggi dan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi, 2006, *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*, Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Agustin, A. H., Gandhiadi, G. K., & Oka, T. B. 2016. *Penerapan Metode Fuzzy Sugeno untuk Menentukan Harga Jual Sepeda Motor Bekas*. E-Jurnal Matematika, pp. 178.
- Astuti, D. P. P., & Mashuri, M. 2020. *Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dan Fuzzy Sugeno Dalam Penentuan Harga Jual Sepeda Motor Bekas (Studi Kasus: Showroom Mulyo Motor)*. UNNES Journal of Mathematics, Vol. 9(2), pp. 74-78.

- Indrawati, D. 2011. *Upaya pengendalian pencemaran sungai yang diakibatkan oleh sampah*. Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology, Vol. 5(6), pp. 185-192.
- Kusumadewi, Sri. 2002. *Analisis Desain Sistem Fuzzy menggunakan Tool Box Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lee, C.C. 1990. *Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I*, in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 20(2), pp. 404-418, doi: 10.1109/21.52551.
- Portal Data Terpadu Pemprov DKI Jakarta. 2021. *Volume Pengangkutan Sampah di Kali Sungai Situ Waduk Bulan Januari 2021*. Dinas Komunikasi, Informatika, dan Statistik. Diakses pada 10 April 2021, <https://data.jakarta.go.id/dataset/data-volume-pengangkutan-sampah-di-kali-sungai-situ-waduk-tahun-2021/resource/54e21e4ac5854b72e0cec4f7ca8069>.
- Portal Data SDA Jakarta. 2016. *List Rekap Alat Berat By Jenis Alat*. Pusat Data dan Informasi SDA, Dinas DAS Prov. DKI Jakarta. Diakses pada 15 April 2021, <http://portaldata.sda.jakarta.go.id/alatberat/merk/list/view/>.
- Saputra, G. 2018. *Simulasi Perangkat Lunak Alat Pengeruk Sampah Otomatis Menggunakan logika Fuzzy Mamdani*. JISA (Jurnal informatika dan Sains), Vol.1(2), pp. 73-76.
- Syukur A. 2021. *Buku Pintar Penanggulangan Banjir*. Yogyakarta: Diva Press.
- Tjoelleng, A. 2017 *Pengantar Pemrograman MATLAB Panduan Praktis Belajar MATLAB*. Jakarta: Elex Media Komputindo, pp. 1-6.