

Optimasi Proses Gasifikasi Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani

Bagus Fatkhurrozi^{1*)}, Sapto Nisworo¹⁾, Sumardi²⁾

¹⁾ Mahasiswa PSPPI, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tidar, Magelang

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang

* email: bagusf@untidar.ac.id

Abstract

This study aims to test the performance of fuzzy logic in the gasification process. Gasification is the process of converting solids into flammable gases. The gas produced becomes an alternative energy source, namely the Waste Power Plant (PLTSa). The research applies Mamdani's fuzzy logic. Fuzzy logic was created using Matlab R2018b software. The results obtained indicate that the Mean Absolute Error (MAE) output of H₂ on fuzzy logic training data is 6.57. The test results for CO fuzzy output MAE value of 1.12. The test results on CO₂ MAE fuzzy are 1.18. In the CH₄ test, the MAE fuzzy output is 0,84.

Keywords — gasification, MAE, Mamdani.

1. Pendahuluan

Sampah merupakan permasalahan yang memerlukan penanganan serius. Semakin bertambahnya penduduk, sampah yang dibuang juga semakin banyak. Sampah yang dibuang di Tempat Pembuangan Sampah (TPA) semakin menggenangi, sudah melebihi kapasitasnya hingga beberapa daerah sampai menutup TPA. Hal tersebut yang mengakibatkan adanya usulan untuk menutup TPA yang sudah *overload*. Salah satu TPA yang diusulkan ditutup adalah TPA Banyuurip di Kota Magelang. Tindakan yang disarankan adalah rehabilitasi yang diteruskan menjadi lahan urug secara bertahap [1].

Salah satu solusi dari permasalahan sampah adalah dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Salah satu penelitian adalah menggali potensi energi listrik hasil gasifikasi sampah organik dari wisatawan di Pantai Parangtritis [2]. Penelitian lain adalah merencanakan PLTSa 115kW di Kota Tegal [3], Pekanbaru [4], dan TPA Bantargebang [5].

Agar bisa dijadikan energi alternatif pembangkit tenaga listrik, sampah memerlukan proses gasifikasi. Proses tersebut adalah merubah bahan padat menjadi bahan gas yang mudah terbakar yang nantinya menjadi bahan bakar PLTSa. Variasi jenis bahan sampah telah diteliti untuk mendapatkan karakterisasi tiap bahan. Bahan yang digunakan adalah 100% daun, 100% dahan, dan 50%-50% daun-dahan [6]. Jenis biomassa mempengaruhi laju pemanasan dan stabilitas produksi gas. Pelet serbuk gergaji memiliki stabilisasi pembakaran terbesar, yaitu 45 menit waktu pembakaran, dibandingkan dengan sekam padi yang memiliki waktu pembakaran 15 menit, dan ranting kayu yang memiliki waktu pembakaran 30 menit [7].

Beberapa teknologi gasifikasi telah diusulkan untuk mengolah sampah menjadi sumber energi. Salah satu penelitian membandingkan gasifikasi sampah dengan *Waste-to-Energy* (WtE) konvensional. Potensi manfaat yang dibenarkan penerapannya terkait dengan perolehan kembali material dan pengendalian operasi/emisi: perolehan kembali logam dalam bentuk tidak teroksidasi; pengumpulan abu dalam bentuk inert dan vitrifikasi; kendali pembakaran; dan generasi yang lebih rendah dari beberapa polutan [8]. Salah satu metode gasifikasi adalah *downdraft gasifier*. *Downdraft gasifier* menarik untuk gasifikasi biomassa karena fabrikasi dan pengoperasiannya mudah, dan juga karena kandungan tar-nya rendah dalam gas produser [9].

Pemodelan gasifikasi biomassa menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST) telah dilakukan. Masukan yang digunakan adalah Abu, kelembaban, C, O, H, ER, T_g. Persentase gas

yang dihasilkan yang merupakan keluaran jaringan berupa gas: CO, CO₂, H₂, dan CH₄ [10].

Produksi metana dari gasifikasi uap cangkang sawit (PKS) telah dioptimasi dengan memanfaatkan abu dasar batubara sebagai katalis. Berdasarkan dataset eksperimental, logika fuzzy digunakan untuk membuat model yang kuat untuk mensimulasikan produksi metana (CH₄) melalui gasifikasi biomassa. *Marine Predator Algorithm* (MPA) digunakan untuk menentukan parameter operasi yang optimal dari proses gasifikasi. Suhu, ukuran partikel, rasio CaO/PKS, dan abu dasar batubara digunakan sebagai variabel masukan, sedangkan keluarannya berupa produksi metana [11].

Pada penelitian ini, gas dari hasil *downdraft gasifier* akan dioptimasi dengan logika fuzzy Mamdani. Proses gasifikasi pada penelitian sebelumnya, keluaran yang dioptimasi hanya berupa gas metana, pada penelitian ini keluaran ada 4 (empat), yaitu: gas hidrogen (H₂), gas karbonmonoksida (CO), gas karbondioksida (CO₂), dan gas metana (CH₄). Penelitian menggunakan logika fuzzy Mamdani karena metode tersebut telah berhasil digunakan pada berbagai objek penelitian lain [12]. Salah satu penerapan logika fuzzy metode Mamdani (*min_max*) adalah untuk membangun sistem pendukung keputusan pemilihan lokasi TPA sampah. Metode ini digunakan untuk menentukan apakah suatu daerah layak, cukup layak atau tidak layak menjadi TPA [13]. Dengan penerapan logika fuzzy Mamdani, diharapkan akan didapatkan keluaran hasil gasifikasi yang optimal berdasarkan masukan yang diberikan ke *gasifier*.

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi pustaka terhadap penelitian sejenis yang sudah dilakukan sebelumnya. Pustaka yang dipelajari berkaitan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA), proses gasifikasi, dan logika fuzzy Mamdani. Kegiatan berikutnya adalah pengumpulan data. Data yang digunakan adalah data primer hasil penelitian proses gasifikasi yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tidar.

Tahap berikutnya merancang dan membuat sistem logika fuzzy menggunakan Matlab R2018b. Sistem logika fuzzy kemudian diimplementasi dan diuji pada data gasifikasi. Jika pengujian didapatkan hasil yang optimal, maka akan dilakukan analisis hasil dan penarikan kesimpulan. Jika hasil belum sesuai yang diharapkan maka proses kembali pada perancangan sistem. Diagram alir metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2 Analisis Hasil

Analisis hasil penelitian dilakukan menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE) [14]. MAE adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengukur tingkat keakuratan suatu model peramalan. Jika menggunakan metode yang lain, misalnya *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), yang persamaannya adalah = jumlah {(nilai aktual-nilai peramalan)/nilai aktual} × 100%. Pada penelitian ini, beberapa nilai aktual adalah 0 (nol), apabila kita terapkan metode MAPE maka hasilnya tak terhingga sehingga hasil akhir tidak dapat dihitung. Adapun persamaan MAE yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

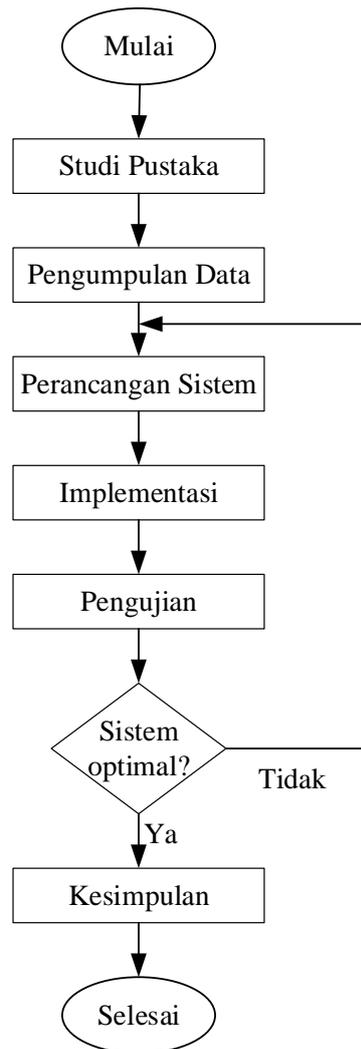
$$MAE = \frac{\sum_{n=1}^N |\hat{r}_n - r_n|}{N} \quad (1)$$

dengan,

N = jumlah data

\hat{r}_n = data hasil komputasi

r_n = data asli



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3 Perancangan Logika Fuzzy

2.3.1 Fuzzyfikasi

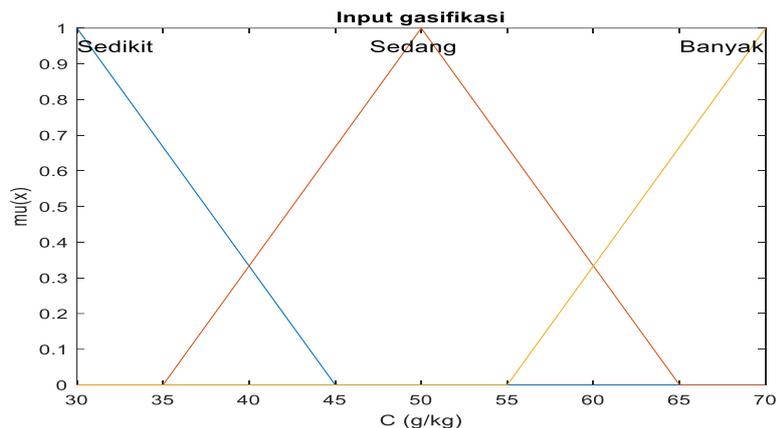
Fuzzyfikasi merupakan suatu proses mengubah himpunan *crisp* ke dalam himpunan fuzzy. Masukan yang bukan fuzzy dipetakan ke dalam bentuk suatu himpunan fuzzy yang sesuai dengan variasi semesta pembicaraan setiap variabel. Proses gasifikasi terdiri dari 6 masukan: Carbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O₂), Nitrogen (N), rasio ekuivalen (ER) dan Temperatur (T). Keluaran gasifikasi terdiri dari 4, yaitu: gas hidrogen (H₂), gas karbon monoksida (CO), gas karbon dioksida (CO₂), dan gas metana (CH₄).

A. Masukan Fuzzy

Masukan fuzzy terdiri dari Carbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O₂), Nitrogen (N), rasio ekuivalen (ER), dan Temperatur (T). Himpunan fuzzy menggunakan fungsi segitiga yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Carbon (C);

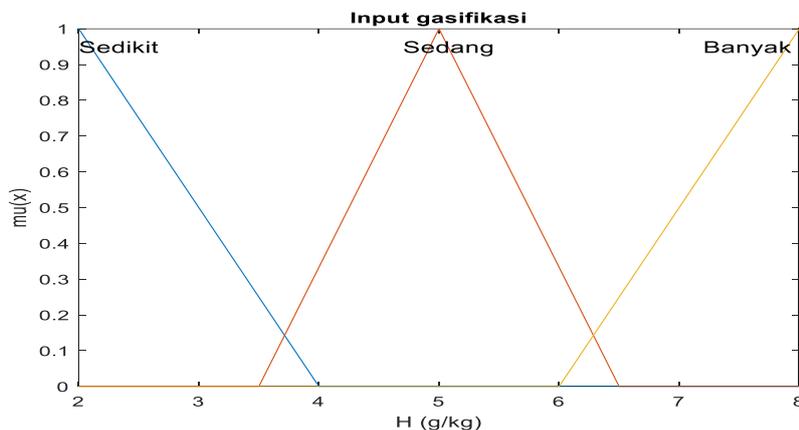
Variabel masukan carbon memiliki semesta pembicaraan antara 30 - 70 g/kg. Variabel carbon dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Sedikit (≤ 30 g/kg), Sedang (35 - 65 g/kg), dan Banyak (≥ 55 g/kg). Himpunan fuzzy carbon menggunakan fungsi segitiga ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Fungsi keanggotaan Carbon

2) Hidrogen (H);

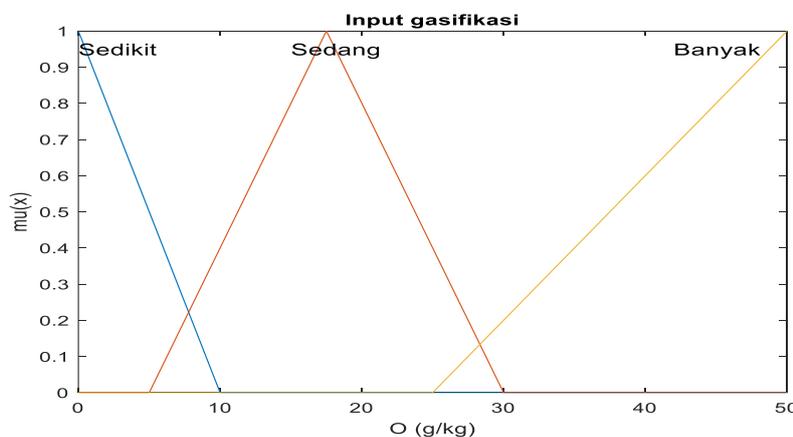
Variabel masukan hidrogen memiliki semesta pembicaraan antara 2 - 8 g/kg. Variabel hidrogen dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Sedikit (≤ 2 g/kg), Sedang (3,5 - 6,5 g/kg), dan Banyak (≥ 6 g/kg). Himpunan fuzzy hydrogen menggunakan fungsi segitiga ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan Hidrogen

3) Oksigen (O₂);

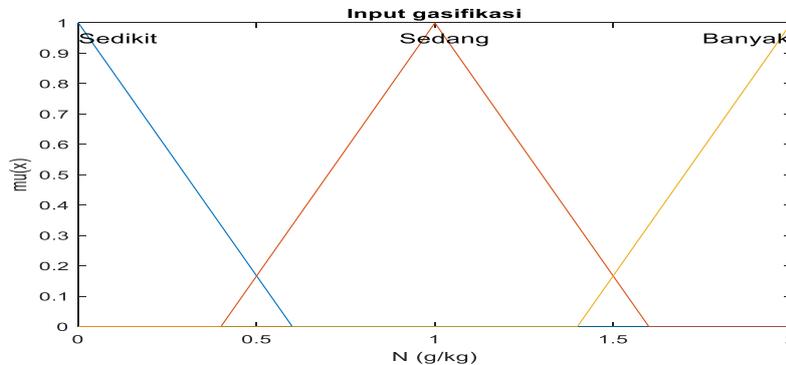
Variabel masukan oksigen memiliki semesta pembicaraan antara 0 - 50 g/kg. Variabel oksigen dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Sedikit (≤ 10 g/kg), Sedang (5 - 30 g/kg), dan Banyak (≥ 25 g/kg). Himpunan fuzzy oksigen menggunakan fungsi segitiga ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan Oksigen

4) Nitrogen (N);

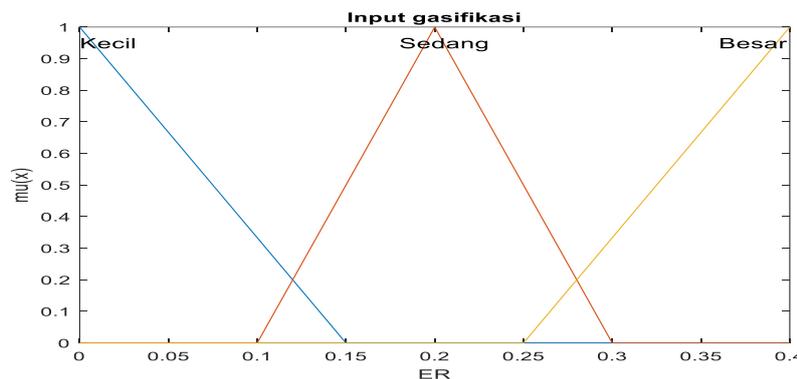
Variabel masukan nitrogen memiliki semesta pembicaraan antara 0 - 2 g/kg. Variabel nitrogen dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Sedikit ($\leq 0,6$ g/kg), Sedang (0,4 - 1,6 g/kg), dan Banyak ($\geq 1,4$ g/kg). Himpunan fuzzy nitrogen menggunakan fungsi segitiga ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan Nitrogen

5) Rasio ekuivalen (ER)

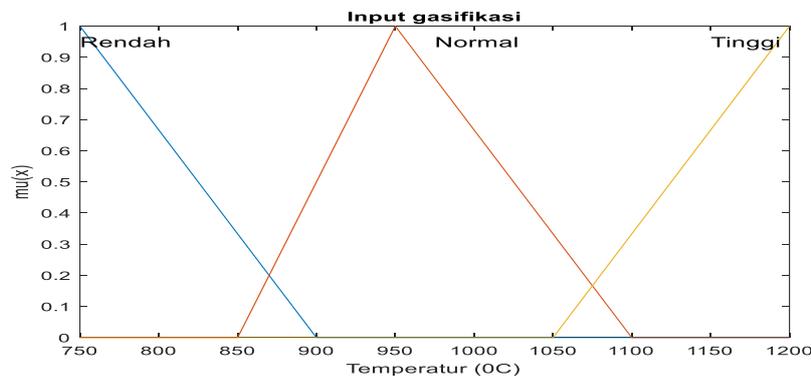
Variabel masukan rasio ekuivalen memiliki semesta pembicaraan antara 0 - 0,4. Variabel rasio ekuivalen dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Kecil ($\leq 0,15$), Sedang (0,1 - 0,3), dan Besar ($\geq 0,25$). Himpunan fuzzy rasio ekuivalen menggunakan fungsi segitiga ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan rasio ekuivalen

6) Temperatur (T)

Variabel masukan temperatur memiliki semesta pembicaraan antara 750 - 1200°C. Variabel temperatur dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Rendah ($\leq 900^\circ\text{C}$), Normal (850 - 1100°C), dan Tinggi ($\geq 1050^\circ\text{C}$). Himpunan fuzzy temperatur menggunakan fungsi segitiga ditunjukkan pada Gambar 7.



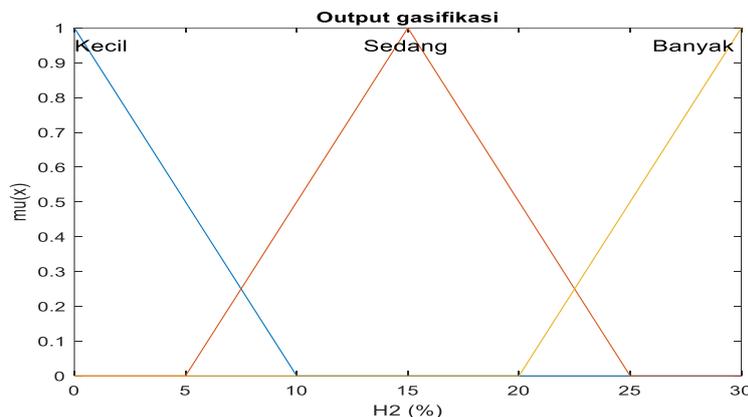
Gambar 7. Fungsi keanggotaan temperatur

B. Keluaran

Keluaran fuzzy proses gasifikasi ada 4, yaitu: H_2 , CO, CO_2 , dan CH_4 . Fungsi keanggotaan menggunakan himpunan segitiga dapat dijelaskan sebagai berikut.

1) Gas Hidrogen (H_2);

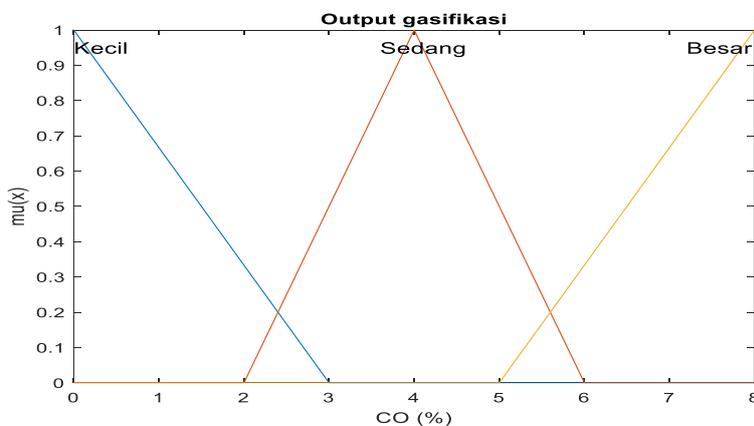
Variabel keluaran H_2 memiliki semesta pembicaraan antara 0 - 30%. Variabel H_2 dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Kecil ($\leq 10\%$), Sedang (5 - 25%), dan Banyak ($\geq 20\%$). Himpunan fuzzy H_2 menggunakan fungsi segitiga dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Fungsi keanggotaan H_2

2) Gas karbon monoksida (CO)

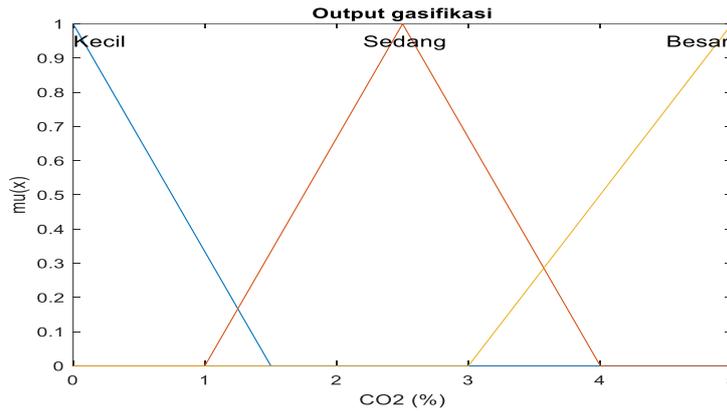
Variabel keluaran CO memiliki semesta pembicaraan antara 0 – 8%. Variabel CO dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Kecil ($\leq 3\%$), Sedang (2 - 6%), dan Banyak ($\geq 5\%$). Himpunan fuzzy CO menggunakan fungsi segitiga dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Fungsi keanggotaan CO

3) Gas karbon dioksida (CO_2)

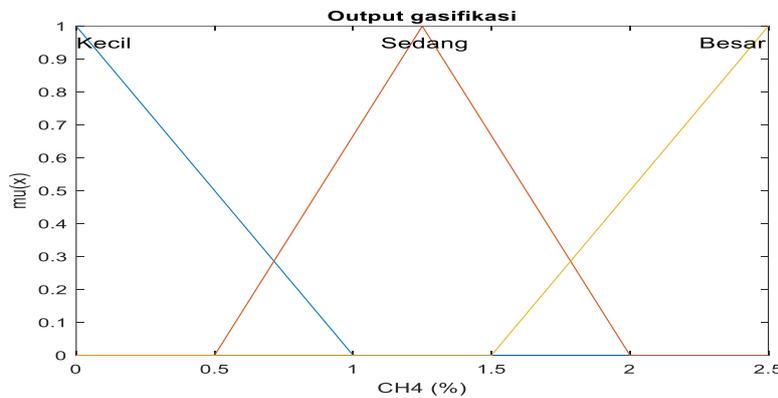
Variabel keluaran CO_2 memiliki semesta pembicaraan antara 0 - 5%. Variabel CO_2 dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Kecil ($\leq 1,5\%$), Sedang (1 - 4%), dan Banyak ($\geq 3\%$). Himpunan fuzzy CO_2 menggunakan fungsi segitiga dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Fungsi keanggotaan CO₂

4) Gas metana (CH₄).

Variabel keluaran CH₄ memiliki semesta pembicaraan antara 0 - 2,5%. Variabel CH₄ dibagi ke dalam 3 himpunan fuzzy, yaitu: Kecil ($\leq 1\%$), Sedang (0,5 - 2%), dan Banyak ($\geq 1,5\%$). Himpunan fuzzy CH₄ menggunakan fungsi segitiga dapat ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Fungsi keanggotaan CH₄

2.3.2 Operator Fuzzy

Operator yang digunakan pada sistem inferensi fuzzy Mamdani pada penelitian ini adalah operator MIN. Operator menggunakan fungsi logika AND.

2.3.3 Aturan Fuzzy

Aturan (*rules*) yang digunakan sejumlah 25 aturan sesuai dengan jumlah data. Aturan-aturan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

2.3.4 Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi yang digunakan sistem inferensi fuzzy Mamdani pada penelitian ini adalah *Centroid of Area* (COA). Defuzzyfikasi digunakan untuk mendapatkan keluaran logika *crisp* yang merupakan keluaran dari fuzzy.

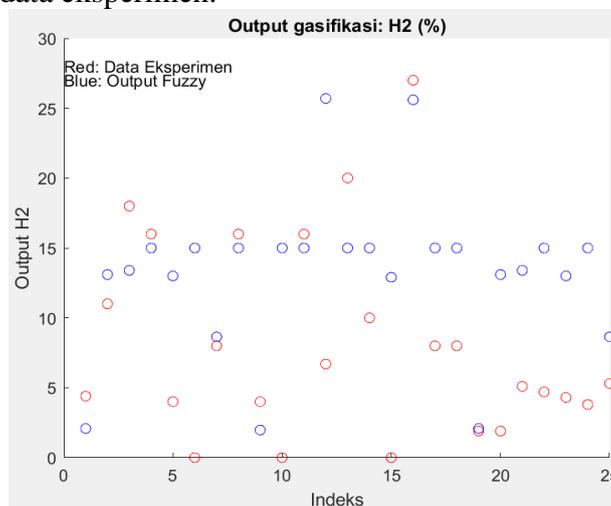
Tabel 1. Aturan Fuzzy

| No | Masukan | | | | | | Keluaran | | | |
|----|---------|---|---|---|----|---|----------------|----|-----------------|-----------------|
| | C | H | O | N | ER | T | H ₂ | CO | CO ₂ | CH ₄ |
| 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 8 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 11 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 12 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 13 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 14 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 15 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 16 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 17 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 18 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 19 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 20 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 21 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 22 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 23 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 24 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

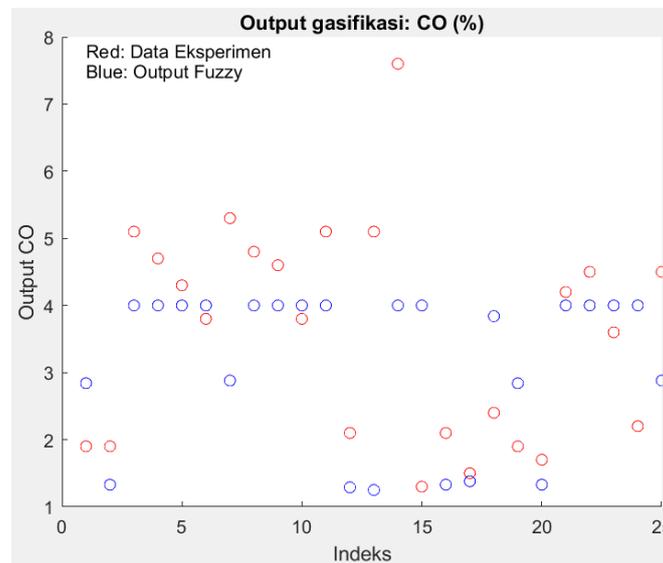
Hasil penelitian merupakan keluaran logika fuzzy Mamdani yang berupa komposisi gas H₂, CO, CO₂ dan CH₄. Keluaran fuzzy selanjutnya akan dibandingkan dengan data primer hasil dari eksperimen di laboratorium. Gambar 12 menunjukkan perbandingan antara keluaran fuzzy berupa gas H₂ dengan data eksperimen.



Gambar 12. Output gasifikasi gas H₂

Berdasarkan Gambar 12, terlihat terjadi perbedaan antara keluaran fuzzy gas H₂ dengan data aslinya. Perbedaan terkecil terjadi pada data ke-19, sebesar 0,18. Keluaran fuzzy sebesar 2,08 % sedangkan nilai asli sebesar 1,9 %. Selisih terbesar terjadi pada data ke-12, yaitu 19. Nilai asli sebesar 6,7%, sedangkan keluaran fuzzy sebesar 25,7%.

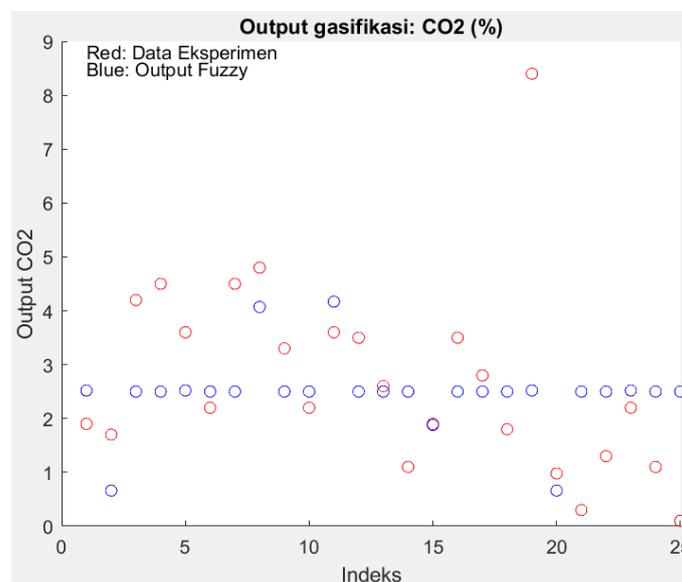
Hasil berikutnya adalah perbandingan antara keluaran fuzzy dengan data eksperimen gas CO. Perbandingan ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Output gasifikasi gas CO

Berdasarkan Gambar 13, terlihat perbedaan antara data eksperimen gas CO dengan keluaran fuzzy Mamdani. Beberapa keluaran fuzzy menunjukkan nilai yang sama, yaitu sebesar 4%. Perbedaan terkecil terjadi pada data ke-17, yaitu sebesar 0,18. Data eksperimen sebesar 1,5%, sedangkan keluaran fuzzy sebesar 1,38. Selisih terbesar terdapat pada data ke-13, sebesar 3,85%. Data eksperimen sebesar 5,1%, sedangkan keluaran fuzzy menunjukkan nilai 1,25%.

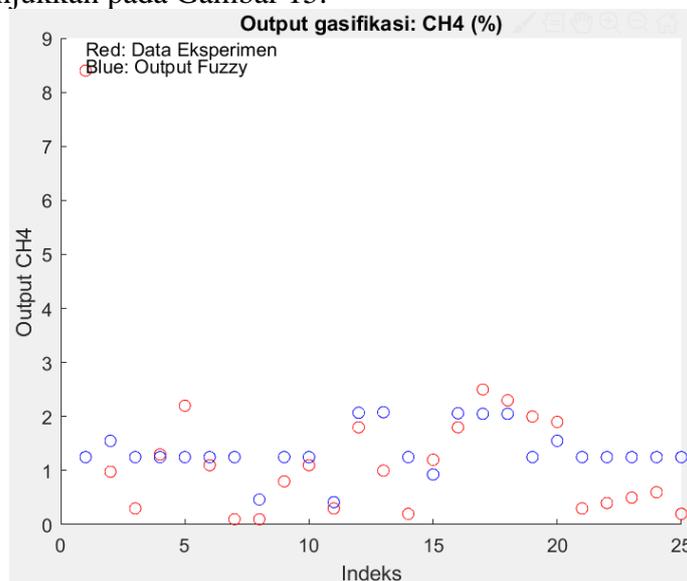
Keluaran berikutnya yaitu gas CO₂. Perbandingan antara data eksperimen dengan keluaran fuzzy ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Output gasifikasi gas CO₂

Pada gambar 14, terlihat bahwa beberapa keluaran fuzzy menunjukkan nilai yang sama, yaitu 2,5%. Selisih terkecil terlihat pada data ke-15. Data eksperimen sebesar 1,9%, sedangkan keluaran fuzzy sebesar 1,88%. Selisih terbesar terjadi pada data ke-19. Fuzzy memberikan hasil 2,52%, sedangkan data eksperimen sebesar 8,4%.

Hasil penelitian terakhir adalah gas CH₄. Perbandingan antara data eksperimen dengan keluaran fuzzy ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Output gasifikasi gas CH₄

Berdasarkan Gambar 15 terlihat bahwa sebagian besar keluaran fuzzy tidak terlalu berbeda dengan data eksperimen. Selisih terkecil terjadi pada data ke-4, yaitu sebesar 0,05. Data eksperimen sebesar 1,3%, sedangkan keluaran fuzzy sebesar 1,25%. Selisih terbesar terjadi pada data ke-1, sebesar 7,15. Keluaran fuzzy sebesar 1,25%, dan data asli sebesar 8,4%.

3.2 Perbandingan dengan Penelitian Lain

Keluaran logika fuzzy Mamdani pada proses gasifikasi selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil penelitian Puig-Arnavat et al., (2013) yang memodelkan gasifikasi menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) [10] dan hasil penelitian oleh Rezk et al., (2022) yang menerapkan memodekan logika fuzzy and marine predators algorithm (MPA) untuk meningkatkan produksi gas metana pada gasifikasi biomassa [11]. Perbandingan hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

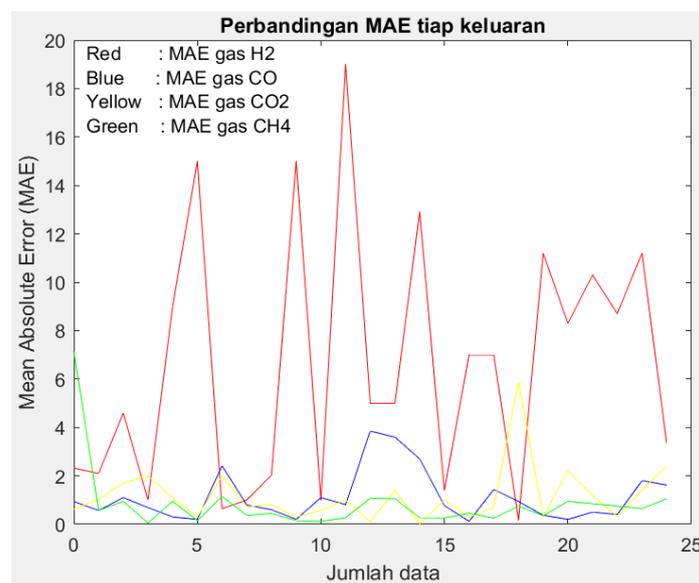
Tabel 2. Perbandingan hasil dari beberapa metode

| No | Metode | Masukan | Keluaran | Hasil (%) |
|----|----------------------|--|--|---|
| 1 | Logika fuzzy | C, H, O, N, ER, T | H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ | H ₂ = 0-2,7 CH ₄ = 0,01-0,84 CO ₂ = 0,11-0,48 CO = 0,13-0,76 |
| 2 | JST | Abu, kelembaban, C, O, H, ER, T _g | H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ | CH ₄ = 52,82 |
| 3 | Logika fuzzy dan MPA | T, ukuran partikel, Rasio CaO/PKS, abu | CH ₄ | H ₂ = 4,97-26,17 CH ₄ = 2,40-6,07 CO ₂ = 9,82-18,60 CO = 10-29,47 |

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa masukan dari ketiga penelitian tersebut juga tidak sama, masukan yang hampir sama terdapat pada logika fuzzy dan JST, yaitu C, H, O, ER, dan T. Hasil penelitian menggunakan logika fuzzy serta logika fuzzy dan MPA memiliki keluaran bervariasi, tergantung dari masukan yang diterimanya. Keluaran logika fuzzy dan MPA yang diusulkan melebihi hasil yang diperoleh secara eksperimen dan metode ANOVA masing-masing sebesar 20,26% dan 29,69%. Keluaran JST hanya berupa CH₄ yang didapatkan pada saat suhu = 678°C, ukuran partikel = 0,42 mm, Rasio CaO/PKS = 3.03, abu dasar batubara sebesar 0,037%. Hasil yang diperoleh dari JST menunjukkan persetujuan yang tinggi dengan data eksperimen yang dipublikasikan menggunakan $R^2 > 0,98$.

3.3 Analisis Hasil Penelitian

Hasil penelitian akan dianalisis menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE). Perbandingan MAE antara gas H₂, CO, CO₂, dan CH₄ ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Perbandingan MAE

Gambar 16 menunjukkan bahwa MAE terbesar terjadi pada gas H₂, sebesar 6,57. MAE gas CO sebesar 1,12. MAE gas CO₂ sebesar 1,18. MAE terkecil terjadi pada gas CH₄, yaitu sebesar 0,84. Perbedaan ini terjadi karena data yang digunakan pada penelitian hanya sedikit, sejumlah 25 pasangan data. Aturan-aturan fuzzy yang digunakan juga tidak terlalu banyak. Jika terdapat 6 masukan dengan masing-masing mempunyai 3 *membership function* pada proses fuzzyfikasi, maka seharusnya terdapat 729 aturan. Berkenaan dengan data yang hanya sedikit, maka digunakan aturan dengan jumlah sama dengan jumlah pasangan data.

Berdasarkan analisis, hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam proses gasifikasi. Keluaran logika fuzzy dapat digunakan untuk menentukan masukan pada sistem gasifikasi. Jika menginginkan keluaran tertentu untuk H₂, CO, CO₂, dan CH₄ maka kita akan dapat mengatur berapa nilai masukan dari C, H, O, N, ER, T. Dengan demikian akan didapatkan hasil gasifikasi yang paling optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, keluaran fuzzy H₂ memiliki MAE sebesar 6,57. Keluaran fuzzy gas CO memiliki MAE sebesar 1,12, MAE fuzzy CO₂ sebesar 1,18 dan MAE fuzzy CH₄ sebesar 0,84. Data yang digunakan pada pengujian masih sedikit, perlu diupayakan penambahan data agar hasil pengujian semakin baik. Selain itu, perlu penambahan teknik optimasi lain pada proses ANFIS agar bisa bekerja lebih optimal.

Referensi

- [1] Mandasari, D. (2017). Penentuan Teknis Penutupan/Rehabilitasi TPA Berdasarkan Penilaian Indeks Risiko Lingkungan di TPA Banyuurip, Desa Banyuurip, Kecamatan Tegalrejo, Kabupaten Magelang Provinsi Jawa Tengah, UPN “VETERAN” Yogyakarta. [Online]. Available: <http://eprints.upnyk.ac.id/12355/>
- [2] Ma'arif, S. (2019). Potensi Energi Listrik Hasil Gasifikasi Sampah Organik dari Wisatawan di Pantai Parangtritis. *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X*, 405, 409.
- [3] Samsinar, R., & Anwar, K. (2018). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 KW (Studi Kasus Kota Tegal). *eLEKTUM*, 15(2).
- [4] Monice, M., & Perinov, P. (2016). Analisis Potensi Sampah sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) di Pekanbaru. *SainETIn (Jurnal Sains, Energi, Teknologi & Industri)*, 1(1), 9-16.
- [5] Prasetyo, A. T. (2017). Studi evaluasi pembangkit listrik tenaga sampah di tempat pengolahan sampah terpadu bantargebang. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- [6] Styana, U. I. F., Indrawati, R., & Cahyono, M. S. (2019). Karakterisasi Proses Gasifikasi Sampah Organik dengan Variasi Jenis Bahan. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 3(1), 29-38.
- [7] Widyawidura, W., Liestiono, M. R. P., Cahyono, M. S., Prasetya, A., & Syamsiro, M. (2017). Pengaruh Jenis Bahan terhadap Proses Gasifikasi Sampah Organik Menggunakan Updraft Fixed Bed Reactor. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(2), 30-37.
- [8] Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste management*, 32(4), 653-666.
- [9] Susastriawan, A. A. P., & Suptoadi, H. (2017). Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 989-1003.
- [10] Puig-Arnabat, M., Hernández, J. A., Bruno, J. C., & Coronas, A. (2013). Artificial neural network models for biomass gasification in fluidized bed gasifiers. *Biomass and bioenergy*, 49, 279-289.
- [11] Rezk, H., Inayat, A., Abdelkareem, M. A., Olabi, A. G., & Nassef, A. M. (2022). Optimal operating parameter determination based on fuzzy logic modeling and marine predators algorithm approaches to improve the methane production via biomass gasification. *Energy*, 239, 122072.
- [12] Hidayat, A. N., Fatkhurrozi, B., & Nawawi, I. (2020). Implementasi Logika Fuzzy pada Kekuatan Sinyal yang Diterima Antena Viasat X-Band. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls*, 2(2), 91-102.
- [13] Ariasih, N. K., Bayupati, I. A., & Darmaputra, I. K. G. (2015). Sistem pendukung keputusan pemilihan lokasi TPA sampah menggunakan metode min_max inference fuzzy. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 14(1).

- [14] Wang, W., & Lu, Y. (2018, March). Analysis of the mean absolute error (MAE) and the root mean square error (RMSE) in assessing rounding model. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 324, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.