



## PENDEKATAN LOGIKA FUZZY UNTUK PENGONTROLAN MATERIAL BATU BARA DALAM JALUR *CONVEYOR BELT*

Fajar Pujiyanto<sup>1</sup>, Santhi Wilastari<sup>2a</sup>, M. Aji Luhur P<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Bumi Akpelni Semarang

Korespondensi:

<sup>a</sup>Politeknik Bumi Akpelni Semarang  
santhi.wilastari@yahoo.com

### ABSTRAK

PLTU di Indonesia mayoritas digunakan *steam boiler* untuk memutarakan turbin generator, batu bara sebagai bahan bakar utama sistem pembakaran *steam boiler*. Proses transport batu bara dari dermaga (*jetty*) ke *furnace boiler* digunakan jalur *conveyor belt* tertutup. Debu halus batu bara mengandung gas CH<sub>4</sub>, CO, dan *light fuel* dalam zat terbang sesuai peringkat batubara. Debu dengan *viscosity* dibawah 50 g/m<sup>3</sup>, konsentrasi gas CH<sub>4</sub>, CO dan temperatur tinggi memicu terjadinya pembakaran sendiri (*self combustion*) hingga bahaya kebakaran. Penelitian ini dibahas tentang pengontrolan material batu bara dengan pendekatan logika fuzzy untuk menghindari bahaya *self combustion*. Metode penelitian deskripsi kualitatif dengan penyelesaian masalah skala laboratorium. Dasar keilmuan mengacu penelitian sebelumnya dan *literatur review*. Pendekatan logika fuzzy sebagai program tertanam di *arduino board*. Parameter input adalah konsentrasi CH<sub>4</sub>, CO, temperatur, *dust viscosity* dan *water spray* sebagai parameter output. Hasil penelitian dinyatakan bahwa faktor dominan *self combustion* adalah *dust viscosity*, konsentrasi gas CH<sub>4</sub> dan CO. *Coal dust viscosity* berat dan dingin mengurangi konsentrasi *flammable gas*, sehingga bahaya *self combustion* dapat dihindari. *Dust viscosity* lebih dari 50g/m<sup>3</sup> dan temperatur dibawah 60°C adalah kondisi aman dalam proses transport batu bara.

**Kata Kunci:** *conveyor belt*, kontrol batu bara, logika fuzzy.

### ABSTRACT

Power Plan in Indonesia mostly uses *steam boilers* to turn turbine generators, and coal as the main fuel for the *steam boiler*. The coal transport process from the *jetty* to the boiler furnace uses a *conveyor belt* lane. Coal fine dust contains CH<sub>4</sub>, CO, and *light fuel* according to the rank of coal. Dust with a *viscosity* below 50 g/m<sup>3</sup>, concentrations of CH<sub>4</sub>, CO and high temperatures trigger *self-combustion*. This research discusses the control of coal materials with a fuzzy logic approach to avoid the dangers of *self-combustion*. The research method is a qualitative description of solving laboratory scale. The scientific basis refers to previous research and literature reviews. Fuzzy logic approach as an embedded program on *Arduino board*. The input parameters are the concentration of CH<sub>4</sub>, CO, temperature, *dust viscosity* and *water spray* as the output parameters. The results of the study stated that the dominant factors of *self-combustion* were *dust viscosity*, concentrations of

*CH<sub>4</sub> and CO gases. Heavy and cold coal dust viscosity prevents self-combustion. Dust viscosity of more than 50g/m<sup>3</sup> and temperatures below 60°C is safety conditions in the coal transport process.*

**Keywords:** conveyor belt, coal controlling, fuzzy logic.

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik dengan penggerak turbin uap diperlukan uap bertekanan tinggi dari hasil boiler utama, boiler yang digunakan di PLTU Paiton kota Situbondo Jawa Timur menggunakan batu bara sebagai bahan bakar pembakaran utama. PLTU Paiton mendapatkan supply batu bara untuk kebutuhan operasionalnya melalui jalur laut menggunakan kapal dari wilayah Kalimantan. Kegiatan bongkar muatan dan distribusi batu bara dilakukan menggunakan sistem conveyor belt berawal dari dermaga kapal (*jetty*), coal yard hingga ke bunker atau fuel furnace boiler dengan kapasitas 1,2 – 1,8 ton/jam.

Jenis batu bara yang digunakan adalah *low rank coal* dengan kadar sulfur 0,33 - 0,35 % berat, dengan nilai kalori 4.200 kcal. Pada proses pembakaran langsung di boiler, batu bara dari coal bunker diteruskan ke coal feeder dan dialirkan ke pulvaiser, dimana batu bara akan digiling dan dihaluskan hingga menjadi serbuk lembut. Serbuk batu bara bercampur dengan udara panas hasil pemanasan dari heater, ditekan oleh primary fan dan dihembuskan ke chamber boiler untuk proses pembakaran. Panas hasil pembakaran diserap pipi-pipa air boiler hingga menghasilkan uap jenuh, kemudian uap jenuh dipanaskan melalui superheater dan dialirkan ke nozzle untuk memutar sudu-sudu turbin generator utama.

Pembakaran baik dengan memperhatikan ukuran partikel batu bara dan temperatur pembakaran untuk mendapatkan efisiensi tertinggi. Serbuk batu bara yang dibakar di dalam furnace boiler hingga ukuran partikel 200 mesh (75 µm). Serbuk batu bara dibakar pada temperatur 1.500°C dalam chamber dan transfer panas ke pipa air boiler [1].

Proses pembakaran partikel batu bara melalui tahapan pemanasan, devolatilisasi, pembakaran zat terbang, dan pengarangan. Faktor lain proses pembakaran yaitu interaksi antara tingkat difusi oksigen ke permukaan, kinetika kimia oksidasi, morfologi arang terhadap jenis dan peringkat batu bara.

Proses transport batu bara dari dermaga hingga ke furnace boiler digunakan sistem conveyor belt tertutup, yaitu jalur conveyor belt dengan pelindung membentuk tunnel atau lorong panjang. Batu bara mengandung kadar flammabele gas (*methane – CH<sub>4</sub>*), amonia, dan minyak ringan sebagai zat terbang yang bervariasi sesuai dengan peringkat batu bara, jenis batu bara, kandungan mineral dan kondisi karbonisasi. Dampak pemanasan lingkungan dan peningkatan temperatur pada serbuk batu bara dengan kandungan kadar gas tertentu serta suhu berlebih dalam jalur tertutup conveyor belt memicu terjadinya pembakaran sendiri (*self combustion*) hingga bahaya kebakaran.

Bahaya *self combustion* oleh serbuk batu bara tidak diperbolehkan didalam proses transport distribusi batu bara. Hal ini memunculkan kegiatan penelitian dalam upaya pengontrolan batu bara agar aman selama proses transport dari coal yard hingga ke furnace boiler. Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem pengontrolan material batu bara antara lain yaitu, Sofiyan D. Susilo et all (2022) yaitu penelitian tentang analisa efektifitas water spray untuk pengurangan debu pada jalur transport batu bara di Pulang Pisau[2]. Muji wiyono dkk. (2018) yaitu penelitian analisis unsur dalam fly ash batu bara dengan metode Analisis Aktivasi Neutron[3]. Ilham Setiardi (2017) merancang alat deteksi dan pengukuran kadar debu menggunakan arduino dengan menampilkan hasil kandungan debu dalam lcd monitor[4]. Pradana et all (2017) yaitu merancang sistem otomatis water spray dengan program PLC untuk mengurangi debu batu bara saat proses transport [5]. L Kun dkk. (2016) yaitu merancang alat untuk analisis gas batu bara di pertambangan Anhui Lu Ling dengan pendekatan C-Support Vector Clasification [6].

Berdasarkan permasalahan tentang *self combustion* oleh batu bara dan mengacu pada penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dibahas tentang upaya pengontrolan material batu bara dengan pendekatan logika fuzzy. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat program berbasis pendekatan logika fuzzy pada arduino board untuk menjaga kestabilan mateial batu bara guna

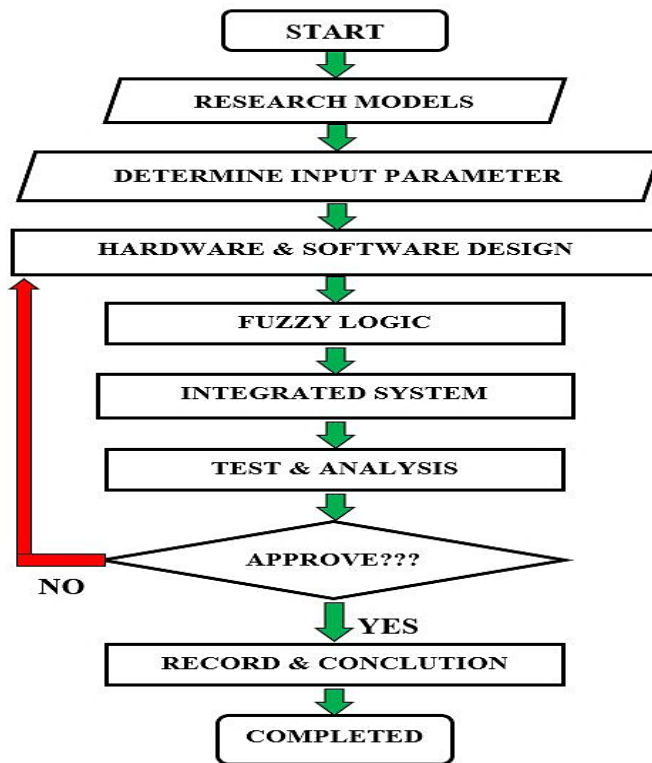
menghindari *self combustion*. Program *arduino board* bertujuan untuk menjaga *viscosity* debu batu bara dan temperatur tetap dingin, sehingga meminimalkan konsentrasi gas  $CH_4$  dan  $CO$  untuk menghindari bahaya *self combustion*. Sistem pendekatan fuzzy dibuat dengan memperhatikan empat parameter *input* yaitu kadar kandungan gas metana,  $CO$ , temperatur dan kadar debu batu bara. Logika fuzzy sebagai dasar pendekatan dan penghitungan untuk ditanamkan sebagai program di *board arduino* guna mengaktifkan parameter *output* yaitu *water spray*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penulisan penelitian tentang pengontrolan material batu bara ini yaitu deskripsi kualitatif, pendekatan ilmu pengetahuan untuk penyelesaian masalah berpedoman pada penelitian skala laboratorium dan diperkuat oleh *literatur review*. Logika fuzzy [7] dipilih sebagai dasar pendekatan dan penghitungan untuk mengkaitkan keempat fungsi parameter input, serta menjalankan parameter *output* dengan benar.

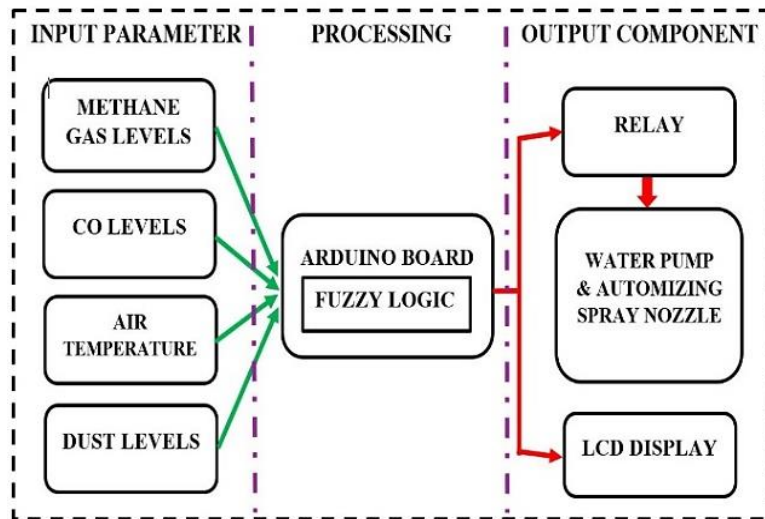
Parameter input terdiri dari empat komponen yaitu, deteksi kadar gas metana  $CH_4$  digunakan sensor MQ2[8], deteksi kadar  $CO$  digunakan sensor MQ7[9], pengukuran nilai temperatur oleh sensor DHT22[10], dan deteksi debu batu bara digunakan sensor Sharp GP2Y1010AU0[11]. Pendekatan logika fuzzy ditanamkan pada program *board arduino uno*[12], dan parameter output adalah *water spray* berupa pompa air dan *automizing spray nozzle*[13]. Komponen pelengkap untuk kemudahan dalam *monitoring* dilengkapi dengan *lcd display* [14] guna menampilkan seluruh nilai parameter input dan output.

Diagram alur penelitian untuk pengontrolan material batu bara berbasis logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur penelitian.

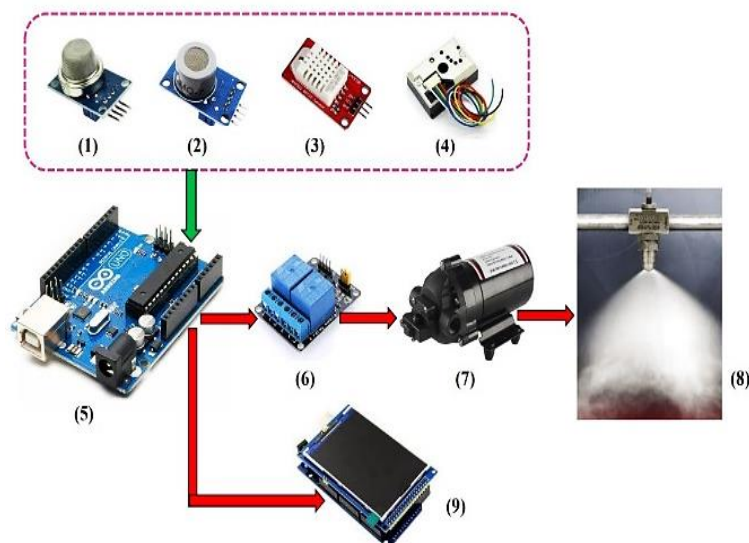
Model sistem penelitian untuk pengontrolan material batu bara berbasis logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model sistem penelitian.

Berdasarkan Gambar 2 yaitu model sistem penelitian dinyatakan bahwa sistem kerja diawali dari data pengukuran keempat parameter input, kemudian dilakukan penghitungan dan pendekatan logika fuzzy di dalam program *board arduino*. Hasil pendekatan logika fuzzy mengaktifkan kerja parameter output yaitu *water spray* melalui *automizing nozzle*, untuk kebutuhan *monitoring* ditampilkan data secara berkelanjutan di dalam layar *Lcd display*.

Desain *hardware* untuk komponen dalam penelitian pengontrolan material batu bara ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Desain komponen *hardware*.

Adapun nama dari komponen pada Gambar 3 adalah sebagai berikut:

1.  $CH_4$  - Methane gas sensor (MQ2)
2. CO sensor (MQ7)
3. Temperature sensor (DHT22)

4. *Dust sensor (GP2Y1010AU0)*
5. *Arduino uno board*
6. *Relay*
7. *High press water pump*
8. *Automizing spray nozzle (water spray)*
9. *Lcd display*

Berdasarkan Gambar 3 yaitu desain komponen hardware untuk pengontrolan batu bara yaitu diawali dari data deteksi oleh sensor MQ2, MQ7, DHT22 dan sensor Sharp GP2Y1010AU0, hasil pengukuran sensor diolah didalam *board arduino* menggunakan fuzzy. Hasil logika fuzzy pada program *board arduino* mengaktifkan *relay*, *water pump* dan *automizing nozzle* sebagai *water spray* untuk pengontrolan kondisi batu bara di dalam jalur *conveyor belt*.

Dasar pendekatan logika fuzzy pada pengontrolan batu bara sebagai perhitungan awal diperlukan nilai acuan dari keempat parameter input dan parameter output, nilai ini digunakan sebagai penentuan kondisi dan sifat pada setiap nilai parameter input dan output. Parameter input logika fuzzy terdiri dari kadar level gas metana, level CO, temperatur dan level asap oleh serbuk batu bara. Parameter output adalah rentang waktu untuk aktivasi *water spray* di dalam jalur transport *conveyor belt* batu bara. Adapun parameter dasar ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dasar logika fuzzy.

No	Parameter	Nilai
1	<i>Methane (CH4) gas levels</i>	Konsentrasi dibawah 300 ppm adalah aman, Konsentrasi 300 - 5000 ppm (max) adalah bahaya
2	<i>CO levels</i>	Konsentrasi dibawah 25 ppm adalah aman Konsentrasi diatas 25 ppm (max) adalah bahaya
3	<i>Air temperature</i>	Temperatur dibawah 60°C adalah aman. Temperatur diatas 60°C adalah bahaya
4	<i>Dust levels</i>	Konsentrasi <i>density</i> dibawah 50g/m <sup>3</sup> adalah bahaya Konsentrasi <i>density</i> diatas 50g/m <sup>3</sup> [15] adalah aman
5	<i>Water spray</i>	Waktu aktif 30 – 90 detik

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini proses penghitungan untuk menyelesaikan permasalahan menggunakan pendekatan logika fuzzy, pendekatan fuzzy dilakukan dengan memperhitungkan nilai dari keempat parameter input dan parameter output sesuai pada Tabel 1.

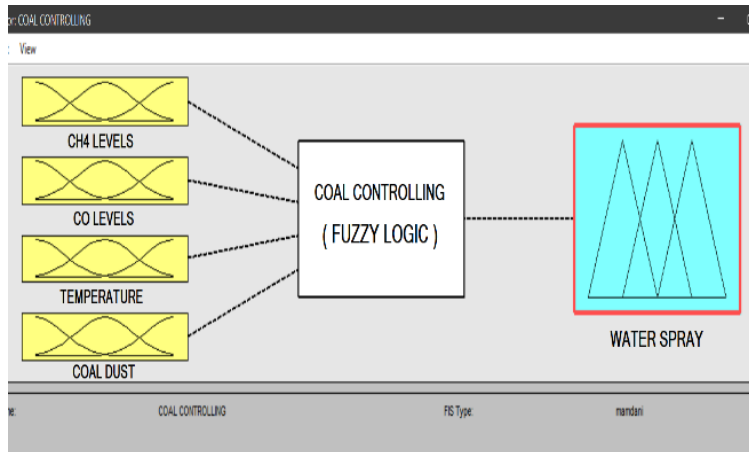
Penelitian terdahulu yang membahas tentang pengontrolan debu dan gas batu bara oleh Ikhwan fauzi dkk. (2020) menyatakan hasil yang didapatkan adalah konsentrasi gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> berubah-ubah namun perubahannya relatif rendah. Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> masih termasuk rendah dengan nilai tertinggi sebesar 1230,32 ppm dan nilai terendah sebesar 1134,34 ppm. Nilai konsentrasi CO<sub>2</sub> yang relatif rendah disebabkan oleh penempatan transmitter dengan lokasi yang minim batu bara, sedangkan nilai konsentrasi gas CH<sub>4</sub> yang rendah dikarenakan kualitas batu bara di lokasi tersebut termasuk buruk atau dikatakan tidak layak untuk diambil sebagai hasil tambang[16]. Sofiyan D. Susilo dkk. (2022) menyatakan hasil pengujian *dust suppression system*, diperoleh sudut *nozzle* yang paling efektif

mereduksi debu batubara yakni sudut 90°. Pada sudut ini *dust suppression system* mampu menurunkan nilai PM2,5 hingga sebesar 7,8  $\eta\text{g}/\text{m}^3$  dan PM10 hingga sebesar 19,4  $\eta\text{g}/\text{m}^3$ . Nilai ini berada dibawah nilai ambang batas PM2,5  $\leq 35 \eta\text{g}/\text{m}^3$  dan PM10  $\leq 70 \eta\text{g}/\text{m}^3$ , sehingga durasi pembersihan debu dapat berkurang serta resiko kebakaran dan paparan debu batubara terhadap pekerja menjadi rendah[2].

Pada penelitian ini nilai acuan setiap parameter pada Tabel 1 digunakan untuk membuat batasan himpunan keanggotaan logika Fuzzy. Himpunan keanggotaan fuzzy pada parameter input terdiri dari kadar gas metana, CO, temperatur dan *dust levels*. Keempat parameter dibuat dalam aplikasi Matlab untuk menunjukkan fungsi kerja berdasarkan pendekatan logika fuzzy untuk mendapatkan nilai waktu aktivasi *water spray*. Tahapan dan aturan pada proses pendekatan logika fuzzy antara lain yaitu:

### 3.1 Fuzzyfikasi.

Tahapan pembuatan keanggotaan fuzzy atau fuzzyfikasi adalah mengubah nilai dasar pada Tabel 1 menjadi nilai *crisp* input dan output sesuai dengan fungsi keanggotaan. Keanggotaan himpunan fuzzy adalah keempat parameter input yaitu *gas metana, CO, temperatur dan dush*, sedangkan parameter output adalah waktu aktif *water spray*. Pendekatan logika fuzzy dalam aplikasi matlab untuk proses pengontrolan material batu bara ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram skematik logika fuzzy

Pada Gambar 4 ditunjukkan proses pendekatan logika fuzzy oleh program Matlab dengan menampilkan keterkaitan fungsi dari keempat parameter input dan dampak terhadap parameter output yaitu aktivasi *water spray*. Logika fuzzy di aplikasi matlab menggunakan jenis mamdani guna menyelesaikan permasalahan dalam program pengontrolan material batu bara dalam jalur trasport *conveyor belt*.

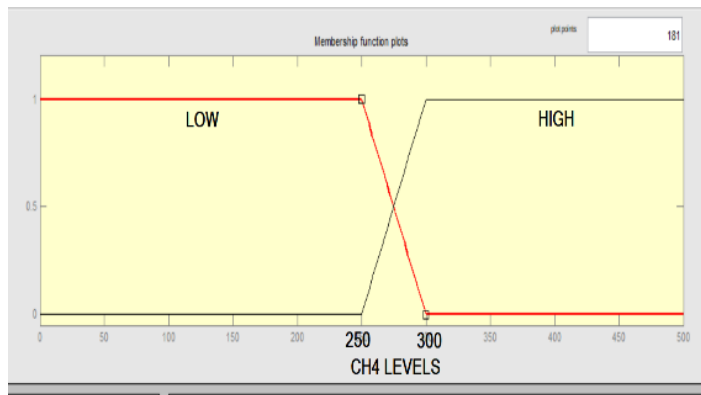
Dasar penyelesaian dalam keanggotaan fuzzy dikenal dengan dua domain fungsi yaitu fungsi naik dan turun. Persamaan yang berlaku untuk menjelaskan fungsi naik dan fungsi turun di tunjukan pada Persamaan 1 dan 2.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad \text{Persamaan fungsi naik... (1)}$$

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad \text{Persamaan fungsi turu... (2)}$$

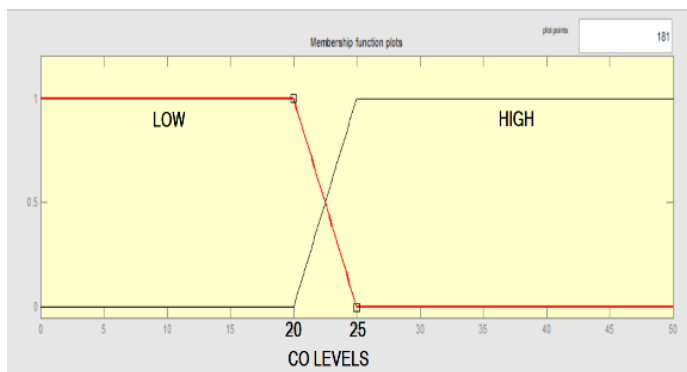
Nilai rentang acuan disetiap parameter input dan output pada Tabel 1 digunakan ke dalam himpunan fuzzyfikasi sebagai penghitungan pendekatan logika fuzzy Parameter input dan output dalam keanggotaan fuzzy adalah sebagai berikut:

- a. Keanggotaan fuzzy untuk parameter input *gas metana (CH<sub>4</sub>)* yaitu dengan *range* titik a=250 ppm dan b=300 ppm. Sesuai aturan pendekatan logika fuzzy, untuk domain fungsi naik bernilai 0 jika  $\chi \leq 250$  ppm, bernilai rentang 0 s/d 1 jika  $250\text{ppm} \leq \chi \leq 300\text{ppm}$ , dan bernilai 1 jika  $\chi \geq 300$  ppm. Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika  $\chi \leq 250$  ppm, bernilai 1 s/d 0 jika  $250 \text{ ppm} \leq \chi \leq 300$  ppm, dan bernilai 0 jika  $\chi \geq 300\text{ppm}$ . Fuzzyfikasi untuk level gas metana ditunjukkan pada Gambar 5.



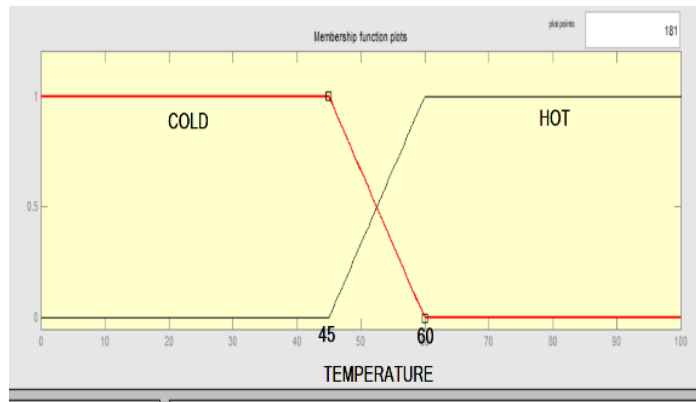
Gambar 5. Keanggotaan fuzzy CH<sub>4</sub>

- b. Keanggotaan fuzzy untuk parameter input level CO yaitu dengan *range* titik a=20 ppm dan b=25 ppm. Sesuai aturan pendekatan logika fuzzy, untuk domain fungsi naik bernilai 0 jika  $\chi \leq 20$  ppm, bernilai rentang 0 s/d 1 jika  $20\text{ppm} \leq \chi \leq 25\text{ppm}$ , dan bernilai 1 jika  $\chi \geq 25$  ppm. Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika  $\chi \leq 20$  ppm, bernilai 1 s/d 0 jika  $20\text{ppm} \leq \chi \leq 25\text{ppm}$ , dan bernilai 0 jika  $\chi \geq 25\text{ppm}$ . Fuzzyfikasi untuk level CO ditunjukkan pada Gambar 6.



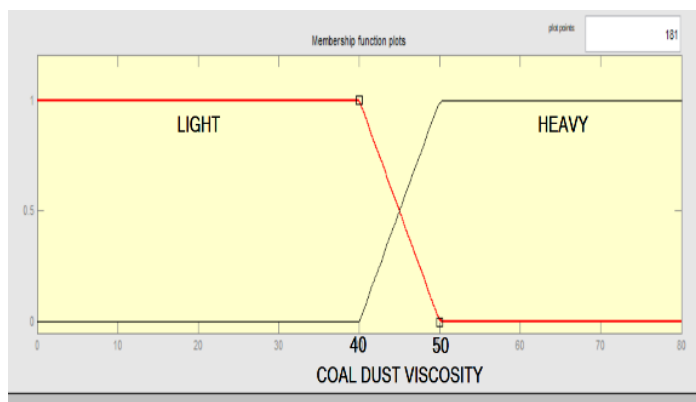
Gambar 6. Keanggotaan fuzzy CO

- c. Keanggotaan fuzzy untuk parameter input temperatur dengan range titik  $a=45^{\circ}\text{C}$  dan  $b=60^{\circ}\text{C}$ . Sesuai aturan pendekatan logika fuzzy, untuk domain fungsi naik bernilai 0 jika  $\chi \leq 45^{\circ}\text{C}$ , bernilai rentang 0 s/d 1 jika  $45^{\circ}\text{C} \leq \chi \leq 60^{\circ}\text{C}$ , dan bernilai 1 jika  $\chi \geq 60^{\circ}\text{C}$ . Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika  $\chi \leq 45^{\circ}\text{C}$ , bernilai 1 s/d 0 jika  $45^{\circ}\text{C} \leq \chi \leq 60^{\circ}\text{C}$ , dan bernilai 0 jika  $\chi \geq 60^{\circ}\text{C}$ . Fuzzyfikasi untuk level CO ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Keanggotaan fuzzy temperatur

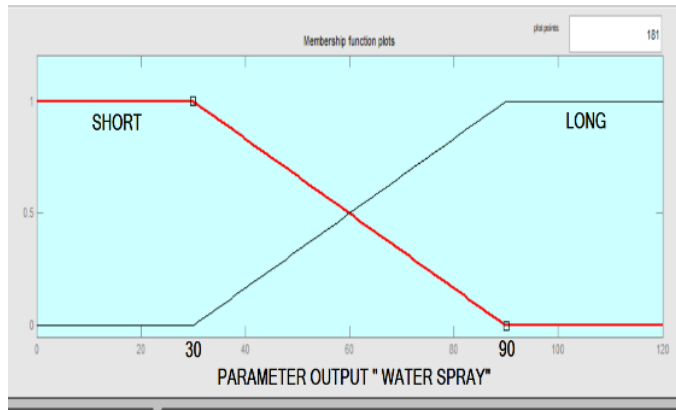
- d. Keanggotaan fuzzy untuk parameter input kadar dush dengan range titik  $a=40\text{g}/\text{m}^3$  dan  $b=50\text{g}/\text{m}^3$ . Sesuai aturan pendekatan logika fuzzy, untuk domain fungsi naik bernilai 0 jika  $\chi \leq 40\text{g}/\text{m}^3$ , bernilai rentang 0 s/d 1 jika  $40\text{g}/\text{m}^3 \leq \chi \leq 50\text{g}/\text{m}^3$ , dan bernilai 1 jika  $\chi \geq 50\text{g}/\text{m}^3$ . Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika  $\chi \leq 40\text{g}/\text{m}^3$ , bernilai 1 s/d 0 jika  $40\text{g}/\text{m}^3 \leq \chi \leq 50\text{g}/\text{m}^3$ , dan bernilai 0 jika  $\chi \geq 50\text{g}/\text{m}^3$ . Fuzzyfikasi untuk level kadar dush ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Keanggotaan fuzzy coal dust.

- e. Keanggotaan fuzzy untuk parameter output waktu aktif *water spray* dengan range titik  $a=30\text{sec}$  dan  $b=90\text{sec}$ . Sesuai aturan pendekatan logika fuzzy, untuk domain fungsi naik bernilai 0 jika  $\chi \leq 30\text{sec}$ , bernilai rentang 0 s/d 1 jika  $30\text{sec} \leq \chi \leq 90\text{sec}$ , dan bernilai 1 jika  $\chi \geq 90\text{sec}$ . Domain dengan fungsi turun bernilai 1 jika  $\chi \leq 30\text{sec}$ , bernilai 1 s/d 0 jika  $30\text{sec} \leq \chi \leq 90\text{sec}$ , dan bernilai 0 jika  $\chi \geq 90\text{sec}$ . Fuzzyfikasi untuk waktu aktif water spray ditunjukkan pada Gambar 9.





Gambar 9. Keanggotaan fuzzy water spray.

### 3.2 Fuzzy Rules Based

Pada penelitian pengontrolan material batu bara ini terdiri dari oarameter input yaitu kadar gas metana, kadar CO, temperatur dan kadar debu batu bara. Parameter output yaitu waktu aktif water spray. Keanggotaan parameter pertama yaitu kadar gas metana terdiri dari dua nilai linguistik low (rendah) dan (tinggi). Parameter input kedua untuk kadar CO dengan nilai linguistik low (rendah) dan hight (tinggi). Parameter input ketiga yaitu temperatur udara dengan nilai linguistik cold (dingin) dan hot (panas). Parameter input keempat adalah kadar viscosity debu batu bara terdiri dari nilai linguistik light (ringan) dan heavy (berat). Hasil pendekatan fuzzy dalam memperhitungkan kondisi dari keempat parameter menghasilkan waktu aktif dari water spray, untuk parameter output ini memiliki nilai linguistik short (pendek) dan long (panjang).

Sesuai dengan keanggotaan fuzzy untuk setiap kondisi pada parameter input dan output, maka dapat dimodelkan fuzzy rules base atau aturan operasional fuzzy. Aturan untuk pendekatan fuzzy pada penelitian ini terdiri dari 16 rules base, Aturan dasar (fuzzy rule base) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Fuzzy rule base

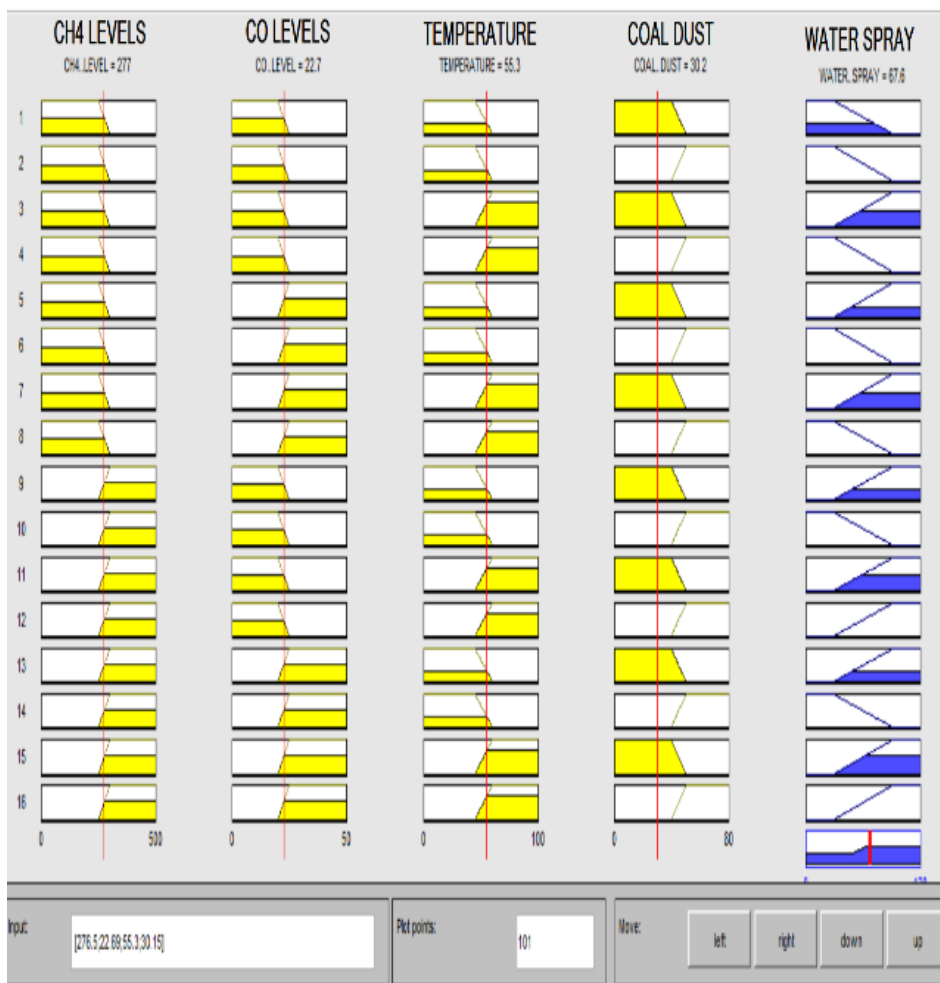
Rule	CH4	CO	Temp	Dust	Water spray
1	Low	Low	Cold	Light	Short
2	Low	Low	Cold	Heavy	Short
3	Low	Low	Hot	Light	Long
4	Low	Low	Hot	Heavy	Short
5	Low	High	Cold	Light	Long
6	Low	High	Cold	Heavy	Short
7	Low	High	Hot	Light	Long
8	Low	High	Hot	Heavy	Short
9	High	Low	Cold	Light	Long
10	High	Low	Cold	Heavy	Short
11	High	Low	Hot	Light	Long
12	High	Low	Hot	Heavy	Long
13	High	High	Cold	Light	Long
14	High	High	Cold	Heavy	Short
15	High	High	Hot	Light	Long
16	High	High	Hot	Heavy	Long

Pembacaan aturan pendekatan fuzzy dengan menambahkan kata penegas "If - And" untuk parameter input, dan kata "Then" untuk parameter output. Berdasarkan Tabel 2 sebagai contoh untuk kalimat penegasan atau cara pembacaan aturan (*rules*) adalah sebagai berikut:

- a. (R1) *If CH<sub>4</sub> is Low, and CO is low, and Temp is Cold, and Dust is Light, Then Water spray is Short.*
- b. (R8) *If CH<sub>4</sub> is Low, and CO is High, and Temp is Hot, and Dust is Heavy, Then Water spray is Short.*
- c. (R16) *If CH<sub>4</sub> is High, and CO is High, and Temp is Hot, and Dust is Heavy, Then Water spray is Long.*

### 3.3 Fuzzy Inference Engine

Fuzzy inference engine dan nilai defuzzifikasi diambil serta terbentuk berdasarkan 16 aturan dasar pada Tabel 2, Inference engine dan defuzzifikasi untuk pengontrolan material batu bara ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Fuzzy inference engine dan Defuzzifikasi

Berdasarkan Gambar 10 dijelaskan bahwa *inferensi engine* dan defuzzifikasi digunakan untuk penghitungan setiap nilai yang terukur pada keempat parameter input, sehingga mendapatkan rentang

waktu aktif untuk *water spray* beroperasi, pengoperasian *water spray* digunakan untuk menjaga material batu bara tetap dalam kondisi aman didalam jalur transport *conveyor belt*.

### 3.4 Hasil Pengujian

Kegiatan pengujian dengan pendekatan logika fuzzy dengan program pada matlab dilakukan dengan mengkaitkan antar nilai terukur untuk kadar gas metana, CO, temperatur dan viscosity debu batu bara, dengan logika fuzzy diperoleh nilai rentang waktu untuk menjalankan *water spray*. Pengujian untuk pengontrolan batu bara di dalam program Matlab dengan pendekatan logika fuzzy dilakukan dengan dua metode. Metode pertama dengan memberikan nilai yang berbeda secara manual ke dalam keempat parameter input, metode kedua adalah dengan memberikan nilai secara bersama pada keempat parameter untuk 16 *rules* yang telah terbentuk pada *fuzzy inference engine*.

Pada kondisi pengujian secara bersama untuk semua *rules pada inference engine* menghasilkan waktu pengoperasian *water spray*. Hasil pengujian dari logika fuzzy dapat dilihat pada sisi kolom waktu aktivasi *water spray*, dimana rentang waktu aktivasi *water spray* bervariasi dimulai dari 30 detik hingga 90 detik tergantung dari nilai terukur dari keempat parameter input. Hasil pengujian pengontrolan material batu bara dengan pendekatan logika fuzzy ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian.

Test	CH4	CO	Temp	Dust	Water spray
1	41	5	22	20	32
2	56	8	22	20	32
3	80	12	28	30	32
4	125	15	34	32	32
5	125	18	34	41	33
6	178	20	34	41	36
7	246	20	40	43	39
8	246	23	40	43	62
9	269	23	46	43	62
10	269	25	46	43	72
11	277	28	50	43	70
12	314	33	54	32	83
13	350	35	56	32	86
14	350	38	64	22	87
15	352	40	64	47	85
16	292	42	64	54	79
17	392	29	56	54	77
18	420	24	50	52	53
19	246	24	50	52	36
20	193	21	75	58	34
21	178	16	76	62	32
22	178	12	79	70	32
23	125	45	79	73	32
24	102	21	62	80	32
25	102	15	54	76	37
26	72	15	46	47	38
27	72	15	48	44	40
28	56	10	62	42	75
29	56	7	76	37	87
30	56	7	52	31	60
31	41	5	26	31	32

32	26	21	28	18	44
33	26	22	22	24	53
34	26	24	22	16	80
35	26	30	28	12	88

Hasil pengujian berdasarkan Tabel 3 dinyatakan bahwa setiap parameter input dengan nilai jauh dari parameter dasar mengakibatkan *water spray* beroperasi cukup lama yaitu dengan rentang waktu 62 – 88 detik. Penelitian program pengontrolan material batu bara dengan skala laboratorium ini telah berhasil dilakukan dengan baik, pendekatan logika fuzzy telah berhasil menentukan waktu aktif *water spray* dengan memperhitungkan setiap nilai terukur dari kadar gas metana ( $\text{CH}_4$ ), CO, tingkat temperatur dan viscosity debu batu bara.

Kondisi kadar gas  $\text{CH}_4$  beserta CO lebih dari 300 ppm dan 25 ppm, mempengaruhi waktu aktif dari parameter output secara signifikan. Konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dengan nilai lebih dari 300 ppm mengakibatkan terjadinya ledakan pada serbuk batu bara dengan *viscosity* kurang dari 50 g/m<sup>3</sup>. Konsentrasi gas CO melebihi 25 ppm tidak diperbolehkan dalam serbuk batu bara, gas CO terdeteksi dikarenakan adanya gas sisa *self combustion* dari serbuk batu bara dalam jalur *conveyor*. Temperatur didalam jalur transport *conveyor belt* diatur pada suhu dibawah 60°C, hal ini bertujuan untuk mengurangi efek *heating* debu batu bara.

*Water spray* digunakan dalam pengontrolan material batu bara, yaitu untuk memberikan *viscosity* lebih terhadap debu batu bara. Viscosity besar menghindari debu bertebaran didalam jalur *conveyor*, dan fungsi kedua sebagai *cooling system* sehingga meminimalkan terjadinya pembakaran sendiri oleh debu batu bara. Faktor dominan dari parameter input yang banyak mempengaruhi nilai parameter output adalah *viscosity* debu batu bara, konsentrasi gas metana dan CO. Kondisi *viscosity* serbuk batu bara berat dan dingin dapat mengurangi konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dan CO, sehingga bahaya *self combustion* dapat dihindari. Penting debu batu bara dipertahankan dengan berat jenis lebih dari 50 g/m<sup>3</sup> dan temperatur ideal dibawah 60°C untuk diperoleh kondisi aman dan selamat dalam proses transport batu bara.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian tentang pengontrolan material batu bara menggunakan pendekatan logika fuzzy telah berhasil dilaksanakan. Pendekatan logika fuzzy dimulai dari keempat parameter input yaitu konsentrasi  $\text{CH}_4$ , CO, temperatur udara dan *viscosity* debu. Sistem kerja logika fuzzy adalah program kerja tertanam di *arduino board*, penghitungan logika fuzzy menghasilkan waktu operasi untuk parameter output yaitu *water spray*

Hasil penelitian disimpulkan bahwa faktor dominan dari parameter input yang banyak mempengaruhi nilai parameter output adalah *viscosity* debu batu bara, konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dan CO. Kondisi *viscosity* debu batu bara berat dan dingin dapat mengurangi konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dan CO, sehingga bahaya *self combustion* dapat dihindari. Pentingnya debu batu bara dipertahankan dengan berat jenis lebih dari 50 g/m<sup>3</sup> dan temperatur ideal dibawah 60°C untuk diperoleh kondisi aman dalam proses transport batu bara

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Santoso, *Petrologi Batu Bara Sumatra dan Kalimantan*, 1st ed. Jakarta: LIPI, 2015.
- [2] F. Teknik *et al.*, "PLTU PULANG PISAU," 2022.
- [3] M. Wiyono and W. Wahyudi, "Analisis Unsur dalam Fly Ash dari Industri PLTU Batubara dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron," *J. Teknol. Lingkungan*, vol. 19, no. 2, p. 221, 2018, doi: 10.29122/jtl.v19i2.2778.

- [4] I. Setiardi, “perancangan alat pengkuran dan pendeteksi debu berbasis Arduino Uno,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2017.
- [5] Pradana, B. D. Sulo, and B. Minto, “Automatisasi water spray untuk mengurangi debu pada proses transport batu bara berbasis PLC di PT . Semen Indonesia ( Persero ) Tbk .,” *Sci. Electro*, vol. 6, no. 2, pp. 23–30, 2011.
- [6] T. B. Tanah, I. Munandar, and T. B. Tanah, “Oo Bd T O,” no. 04, p. 9, 2018.
- [7] R. Ramadania, “Analysis of Decision Support Systems in Choosing Study Programs Using Fuzzy Logic Methods,” *Bimaster*, vol. 7, no. 4, pp. 329–334, 2018.
- [8] L. Henan Hanwei Electronics Co., “Technical Datasheet Mq-2 Gas Sensor.” Henan Hanwaei Electronics, pp. 2–4, 2015.
- [9] Hanwei Electronics, *MQ-7 carbon monoxide gas sensor datasheet*, vol. 1. sparfun.com, 2018.
- [10] T. Liu, *DHT22*, vol. 22. Aosong Electronics Co.,Ltd, 2015.
- [11] Sharp, “Application note of Sharp dust sensor GP2Y1010AU0F,” pp. 0–6, 2013, [Online]. Available: [http://www.sharp-world.com/products/device-china/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au\\_appl\\_e.pdf](http://www.sharp-world.com/products/device-china/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf)
- [12] Farnell, “Arduino Uno Datasheet,” *Datasheets*, pp. 1–4, 2013, [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- [13] I. C. Air, A. Engineers, K. Base, Y. Channel, and A. Engineers, *EXAIR. Automizing Spray Nozzle*. 2020.
- [14] B. I. T. M. Mar and U. M. Cr, “2 . 4inch Arduino 8BIT Module MAR2406 User Manual,” pp. 1–21.
- [15] M. Safety, O. Division, and N. S. Wales, “Guideline for coal dust explosion prevention and suppression December 2001,” no. December, 2001.
- [16] ikhsan fauzi, “Sistem Pemantauan Kadar Gas pada Tambang Batu bara Berbasis IoT Menggunakan Teknologi Komunikasi LoRa,” *J. ITS*, vol. 09, no. 1, pp. 81–86, 2020.