

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Luthfi et al, 2021), membahas tentang Rancangan Pemadam Api Otomatis dengan Kendali Suhu dan Kelembaban Ruangan Menggunakan Logika Fuzzy. Penelitian ini menggunakan tiga sensor input, yaitu sensor DHT11 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban udara, sensor TG2600 untuk mendeteksi gas, dan sensor *phototransistor* untuk mendeteksi radiasi inframerah. Komponen *output* sistem terdiri dari modul *XBee*, *buzzer*, dan *N-Mosfet driver*. Modul *XBee* berfungsi sebagai pengirim dan penerima data dari *end devices* ke bagian koordinator. *Buzzer* digunakan sebagai indikator ketika terdeteksi sumber api atau gas CO mencapai nilai lebih dari 50 ppm. Sedangkan *N-Mosfet* berperan dalam mengatur kecepatan putaran kipas DC yang digunakan. Pengendali utama dalam sistem ini menggunakan logika *fuzzy Mamdani*. Metode ini menggunakan *membership function* dalam proses *fuzzification* sebagai parameter nilai *input*, *fuzzy rules* sebagai aturan yang digunakan dalam *fuzzification*, dan *defuzzification* untuk menghasilkan nilai *output* dari proses yang telah dilakukan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pengujian pemadaman api otomatis memiliki *response time* sekitar 30 detik setelah sumber api menyala. Sensor DHT11 memiliki sensitivitas suhu sebesar 1 °C dan sensitivitas kelembaban 1% RH, dengan jangkauan deteksi suhu dari 0 hingga 60 °C dan kelembaban dari 20 hingga 90% RH [7].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Dessy et al, 2022) , dibahas mengenai Penerapan Metode Logika *Fuzzy Sugeno* pada Prototipe Robot Pemadam Api dengan Kemampuan Navigasi. Fokus dari penelitian ini adalah mengembangkan prototipe robot pemadam api yang menggunakan beberapa sensor *input* utama, seperti sensor garis, sensor api, dan sensor ultrasonik. Untuk *output*, robot ini menggunakan LCD, kipas, servo, dan *driver motor*. Logika *fuzzy sugeno* digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem ini. Data *input* yang digunakan adalah jarak yang didapatkan dari sensor *ultrasonik*, yang kemudian diproses oleh

Arduino untuk mengontrol arah dan kecepatan motor DC pada robot. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa Implementasi logika *fuzzy sugeno* berhasil direalisasikan pada sistem navigasi robot, dengan pergerakan yang baik dan berhasil menghindari benturan dengan dinding dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%. Robot juga mampu mendeteksi keberadaan api di ruangan tertutup dengan persentase sukses 100%. Namun, ada catatan bahwa ketika robot berada di ruangan atau arena yang terkena cahaya matahari, pembacaan sensor api dapat dipengaruhi oleh cahaya tersebut [8].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Fattah et al, 2019), membahas tentang Penerapan Sistem *Fuzzy Inference Mamdani* untuk Memprediksi Jumlah Kemunculan Titik Api. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan program yang dapat memprediksi jumlah kemunculan titik api di pulau Jawa dengan menggunakan Sistem *Fuzzy Inference Mamdani*. Metode *Max-Min*, yang juga dikenal sebagai metode *Fuzzy Inference System Mamdani*, digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Sistem *Fuzzy Inference Mamdani* berhasil diimplementasikan dalam bentuk perangkat lunak dan mampu memprediksi jumlah kemunculan titik api. Pengujian Sistem *Fuzzy Inference Mamdani* menghasilkan nilai MSE (*Mean Squared Error*) sebesar 5432.37196 untuk prediksi 10 hari dengan menggunakan data latih selama 2 tahun [9].

Penelitian yang dilakukan oleh (Rahmat et al, 2019), membahas tentang Penerapan Sistem Pemadam Kebakaran pada Ruang Tertutup Berbasis Arduino Menggunakan Logika *Fuzzy*. Penelitian ini menggunakan tiga parameter, yaitu sensor DHT11, sensor MQ-2, dan sensor api. Selanjutnya, keluaran dari sistem ini berupa tindakan yang diatur oleh dua aktuator, yaitu *exhaustfan* untuk mengeluarkan asap dan *waterpump* untuk memadamkan api. Logika *fuzzy mamdani* digunakan untuk mengendalikan pengambilan keputusan pada aktuator *fan* dan *pump water* sesuai dengan kebutuhan. Terdapat tiga variabel masukan dalam logika *fuzzy*, yaitu suhu, asap, dan api, masing-masing dengan tiga *membership function*, serta variabel api dengan empat *membership function*. Selain itu, variabel keluaran *exhaustfan* dan *waterpump* juga memiliki empat fungsi member, dengan total 36 aturan *fuzzy* yang diterapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menentukan berbagai kondisi ruangan dengan akurasi mencapai 100%. Pengujian

logika *fuzzy* menghasilkan persentase keberhasilan sebesar 100%, menunjukkan kesesuaian dengan perancangan sistem yang telah dibuat. Sistem juga mampu menentukan berbagai kondisi keluaran, termasuk kecepatan kipas dan durasi pompa air yang bervariasi [10].

Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh (Dede et al, 2022), dibahas tentang penerapan Sistem Pencegahan Dini Kebakaran dalam gedung menggunakan logika *fuzzy* dengan *inferensi Mamdani* berbasis *Internet of Things*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pencegahan dini kebakaran dalam sebuah ruangan dengan menggunakan metode logika *fuzzy* yang terhubung dengan *Internet of Things*. Sistem yang dikembangkan melibatkan tiga input, yaitu sensor api, sensor asap, dan sensor suhu. Sedangkan untuk *output*, sistem ini terdiri dari penggunaan relai untuk mengaktifkan *exhaust* dan pompa air guna memadamkan api saat terdeteksi potensi kebakaran. Logika *fuzzy* dengan metode *inferensi Mamdani* diterapkan sebagai algoritma pengambilan keputusan untuk menentukan tingkat pemadaman api ketika terjadi potensi kebakaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketiga sensor dapat berfungsi dengan baik. Sensor suhu DS18B20 memiliki rata-rata kesalahan sebesar 0,1% jika dibandingkan dengan *thermometer*. Sensor gas MQ-2 dapat mendeteksi berbagai jenis gas, sementara sensor api dapat mendeteksi titik api dengan jarak sekitar 1 meter [11].

## **2.2 DASAR TEORI**

### **2.2.1 Kebakaran**

Kebakaran didefinisikan sebagai suatu kejadian bencana yang disebabkan karena adanya keberadaan api. Api sendiri merupakan hasil dari reaksi kimia atau oksidasi yang cepat, dipicu oleh tiga unsur penting yaitu panas, udara, dan bahan bakar. Gabungan ketiga unsur ini menghasilkan panas dan cahaya yang merupakan karakteristik dari api. Proses pembakaran melibatkan komponen keempat yang dikenal sebagai *chemical chain reaction*. Konsep ini juga sering disebut sebagai Piramida Api. Rantai reaksi kimia ini merupakan suatu kejadian di mana ketiga elemen tersebut berinteraksi secara kimiawi, menghasilkan tidak hanya cahaya tetapi juga nyala api atau proses pembakaran itu sendiri [12].



**Gambar 2.1 Kebakaran pada pasar [13]**

Bahan yang mudah terbakar merujuk pada semua benda yang mampu mengalami proses pembakaran. Terdapat tiga bentuk bahan bakar sebagai berikut.

- a. Bahan padat adalah jenis bahan bakar yang setelah mengalami proses pembakaran akan meninggalkan sisa berupa abu atau arang. Contohnya meliputi kayu, batu bara, plastik, gula, lemak, kertas, kulit, dan sejenisnya.
- b. Bahan cair adalah jenis bahan bakar yang berbentuk cairan, seperti bensin, cat, minyak tanah, pernis, *turpentine*, *lacquer*, alkohol, *olive oil*, dan lain sebagainya.
- c. Bahan gas adalah jenis bahan bakar yang berwujud gas, seperti gas alam, asetilen, propan, karbon monoksida, butan, dan lain-lain..

Kemudian kebakaran memiliki beberapa jenis dan perlakuannya masing-masing untuk bisa dipadamkan, yaitu sebagai berikut:

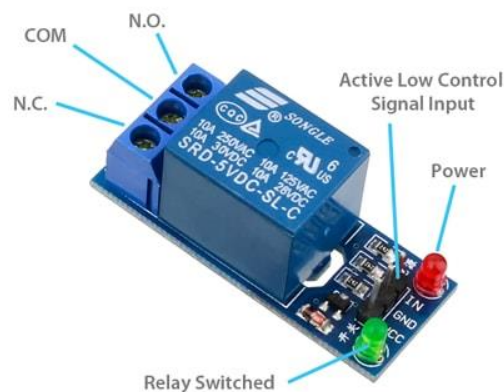
- a. Kelas A mencakup kebakaran pada benda padat, kecuali logam seperti kayu, arang, kertas, plastik, karet, dan kain. Untuk memadamkan kebakaran kelas A, digunakan air, pasir/tanah, APAR *dry chemical*, APAR *foam*, dan APAR HCFC.
- b. Kelas B melibatkan kebakaran pada benda cair dan/atau gas seperti bensin, solar, minyak tanah, aspal, alkohol, dan elpiji. Penanganan kebakaran kelas B melibatkan penggunaan pasir/tanah (untuk area kebakaran yang kecil), APAR *dry chemical*, APAR CO<sub>2</sub>, APAR *foam*, dan APAR HFCCF.
- c. Kelas C merujuk pada kebakaran yang terjadi pada peralatan listrik bertegangan. Biasanya, kebakaran kelas C disebabkan oleh korsleting listrik yang menyebabkan percikan api yang dapat membakar benda-benda di

sekitarnya. Penanganan kebakaran kelas C melibatkan penggunaan APAR *dry chemical*, APAR CO<sub>2</sub>, dan APAR HCFC.

- d. Kelas D terkait dengan kebakaran yang melibatkan bahan logam seperti magnesium, aluminium, dan kalium. Kebakaran kelas D sangat berbahaya dan hanya dapat dipadamkan dengan APAR *sodium chloride dry powder*.

### 2.2.2 Relay 5 VDC

Relay berfungsi untuk mengontrol pasokan daya ke peralatan listrik lainnya. Rangkaian driver ini dirancang berdasarkan program mikrokontroler dengan sinyal kontrol dari mikrokontroler. Apabila sinyal tersebut berlogika tinggi (5 volt), maka lampu yang dikendalikan akan terhubung dengan sumber daya AC. Sebaliknya, jika sinyal berlogika rendah (0 volt), maka lampu yang dikendalikan akan terputus dari sumber daya AC [14].



**Gambar 2.2 Relay 5 VDC [15]**

Contoh implementasi dari relay yaitu mengontrol lampu menggunakan mikrokontroler. Dimulai melalui program mikrokontroler, kita dapat dengan mudah mengontrol lampu dengan mengatur sinyal pada pin kontrol relay. Apabila mikrokontroler mengirimkan sinyal logika tinggi, relay akan berfungsi sebagai saklar yang menutup, sehingga lampu akan menyala. Sebaliknya, ketika mikrokontroler mengirimkan sinyal logika rendah, relay akan berfungsi sebagai saklar yang membuka, dan akibatnya lampu akan mati. [14].

### 2.2.3 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan model *board* Arduino yang menggunakan IC mikrokontroler ATmega 2560. *Board* ini memiliki banyak pin I/O, terdiri dari 54 digital *input/output*, di mana 15 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, serta 16 pin analog *input* dan 4 UART. Arduino Mega 2560 juga memiliki frekuensi operasi 16 MHz yang cocok untuk keperluan proyek-proyek yang relatif sederhana. Untuk menggunakannya, pengguna dapat menyuplai daya dari USB ke PC atau Laptop, atau melalui *Jack* DC dengan menggunakan adaptor 7-12 VDC. [16].



**Gambar 2.3 Board Arduino Mega 2560 [17]**

Merujuk pada gambar 2.3 merupakan bentuk fisik dari *Board* Arduino Mega 2560 dan pada tabel 2.1 menjelaskan terkait karakteristik dari *Borad* Arudino Mega 260 mulai dari jenis mikrokontroler sampai dengan *flash memory* yang dimiliki.

**Tabel 2.1 Karakteristik Arduino Mega 2560 [18]**

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Pengoperasian	5V
Tegangan Input (Rekomendasi)	7-12V
Batas Tegangan <i>Input</i>	6-20V
Pin I/O Digital	54
Pin Digital PWM	15
Pin Input Analog	16
Arus DC Tiap Pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB

### 2.2.4 Sensor KY 026

Sensor KY 026 atau pendeteksi api merupakan sebuah sensor dimana dapat mengidentifikasi nilai intensitas serta frekuensi api pada sebuah proses pembakaran. Sensor api KY-026 memiliki fungsi sebagai sensor input yang dapat mendeteksi adanya api saat terjadinya kebakaran dalam sebuah ruangan. Sensor ini menggunakan sinar inframerah (*infrared*) dengan panjang gelombang antara 760 nm sampai 1100 nm. Sensor memiliki *response time* sekitar 15 mikro detik [19].



**Gambar 2.4 Sensor api KY-026 [20]**

Modul sensor api KY 026 memiliki 4 kaki/pinout dengan konfigurasi dari bawah ke atas yaitu pin keluaran analog (AO) – *Ground* - Daya(5V) – Keluaran digital (DO). Lalu ada juga modul dengan 3 kaki/pinout dengan tanpa adanya pin Digital *Out* (DO). Pada gambar 2.4 merupakan peta pin dari sensor KY 026 dan tabel 2.2 menjelaskan terkait karakteristik sensor KY-026.

**Tabel 2.2 Karakteristik sensor KY-026 [19]**

Modul	KY 026
Tipe	keduanya (digital dan analog)
Chip	Komparator LM393
Tegangan Operasi	DC 3.3V sampai 5.5V
Arus Maksimum	15mA
Deteksi Gelombang Inframerah	760 nm sampai 1100 nm
Sudut deteksi sensor	60°
Indikator Lampu LED	Indikator Daya (LED1), Indikator Pemicu (LED2)
Dimensi Papan	1.5cm x 3.6cm [0.6in x 1.4in]

### 2.2.5 Pompa Air

Pompa air ini biasanya digunakan untuk mengalirkan air di dalam akuarium. Daya pompa yang dibutuhkan sebesar 7 watt dengan tipe pompa yaitu WP-1200, kemudian tekanan pompa ini berkisar 220 sampai 240 V dengan kekuatan mengalirkan air sampai dengan 1000 Liter per jam dengan ketinggian maksimal untuk penyempotan air yaitu 1 Meter [21].



**Gambar 2.5 Pompa Air WP1200 [22]**

Merujuk pada gambar 2.5 merupakan pompa air WP1200 dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino Mega 2560, pengguna dapat membuat program kustom yang mengatur waktu dan frekuensi pengoperasian pompa air. Misalnya, dengan memprogram mikrokontroler, pengguna dapat mengatur jadwal pompa air untuk menghidupkan dan mematikan secara otomatis pada waktu-waktu tertentu sesuai kebutuhan. Ini sangat berguna dalam mengoptimalkan penggunaan pompa air dan menghindari pemborosan.

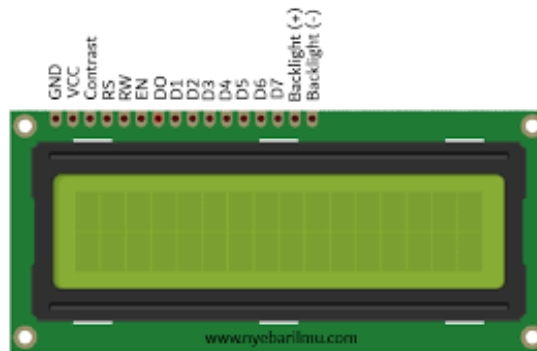
Selain itu, melalui Arduino Mega 2560, kita dapat mengintegrasikan sensor-sensor seperti sensor tekanan, sensor level air, atau sensor suhu. Dengan memantau data dari sensor-sensor ini, kita dapat mengambil keputusan yang lebih cerdas terkait pengoperasian pompa. Misalnya, jika sensor level air mendeteksi level air yang rendah, mikrokontroler dapat memberikan perintah untuk menghidupkan pompa air secara otomatis. Ini memastikan pasokan air yang konsisten dan mencegah pompa berjalan kering.

Secara keseluruhan, penggunaan Pompa Air WP1200 dalam kombinasi dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 memberikan solusi cerdas untuk pengendalian pompa air [21].



### 2.2.6 *Liquid Crystal Display 16x2*

*Liquid Crystal Display* merupakan bagian dari komponen elektronika dengan tugas untuk menunjukkan *interface* antara mikrokontroler dengan *user* atau pengguna. LCD 16x2 ini membantu untuk mempermudah memantau keadaan suatu sensor maupun jalannya sebuah program. Untuk LCD 16x2 dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler dengan keperluan masing-masing. Untuk tampilan *interface* yang dikeluarkan yaitu berupa karakter, huruf, angka, dan juga grafik [23].



**Gambar 2.6 LCD 16×2 [24]**

Merujuk pada gambar 2.6 merupakan bentuk dari LCD 16×2 yang dimana integrasi *Liquid Crystal Display* (LCD) 16x2 dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 memberikan tampilan visual yang informatif dan interaktif pada berbagai proyek. Dari pemantauan sensor hingga pengendalian, LCD menambah dimensi komunikasi visual yang lebih kaya, memungkinkan pengguna untuk lebih terlibat dan mengerti informasi yang ditampilkan oleh sistem dan pada tabel 2.3 merupakan karakteristik dari LCD 16×2 yang digunakan.

**Tabel 2.3 Karakteristik LCD 16×2 [24]**

Interface	2 baris dengan 12 Karakter
Display controller	HD44780 (standar industri LCD)
Tegangan	5V DC
Modul Dimensi	80 × 36 × 12 mm
Tampilan Layar	64,5 mm × 16 mm
LED	Hijau, Biru, dan kuning

### 2.2.7 Sensor DHT11

Sensor DHT11 adalah jenis perangkat dengan fungsi untuk mendeteksi suhu serta kelembaban udara di lingkungan atau ruangan tertentu. Modul ini terdiri dari modul suhu serta kelembaban dengan terkalibrasi dan diintegrasikan dengan mikrokontroler. Sensor DHT11 memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dalam rentang  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $50^{\circ}\text{C}$  dalam ketelitian  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , serta kelembaban dalam rentang 20% sampai 90% dalam ketelitian  $\pm 5\%$ . Umumnya, sensor ini digunakan dalam proyek-proyek yang memerlukan pemantauan suhu dan kelembaban, seperti sistem pengendalian iklim dan sistem pemantauan keamanan [25].



**Gambar 2.7 sensor DHT11 [25]**

Merujuk pada gambar 2.7 merupakan bentuk dari sensor DHT11 dimana sensor ini digunakan dalam berbagai proyek membawa manfaat signifikan dalam pengukuran suhu dan kelembaban. DHT11 adalah sensor suhu dan kelembaban relatif yang sering digunakan dalam proyek-proyek berbasis mikrokontroler seperti Arduino. Terdapat beberapa implementasi dari penggunaan sensor DHT11 seperti Pemantauan Cuaca Lokal, Kontrol Iklim Ruangan, Penanaman Tanaman, Sistem Pendeteksi Kebakaran, Kendali Kipas dan Pemanas, Proyek IoT, Monitor Data Lingkungan.

Karakteristik dari sensor DHT11 yaitu VCC (5V): Pin ini digunakan untuk memberikan daya pada sensor DHT11 dengan tegangan 5V, Data Out: Pin data out (DOUT) adalah pin keluaran digital yang mengirimkan data suhu dan kelembaban dari sensor ke mikrokontroler, No Connection: Pin ini tidak digunakan dan harus dibiarkan tidak terhubung, dan GND: Pin ini digunakan untuk menghubungkan sensor DHT11 dengan *ground* mikrokontroler [25].

### 2.2.8 Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 merupakan salah satu perangkat dengan tugas untuk mendeteksi asap dan gas beracun seperti karbon monoksida, gas LPG, dan metana di lingkungan dan ruangan tertentu. Sensor ini menggunakan prinsip katalitik dan elektrokimia untuk mendeteksi keberadaan gas, dengan mengubah konsentrasi gas yang terdeteksi menjadi sinyal listrik. Rentang pengukuran konsentrasi gas yang mudah terbakar oleh sensor ini adalah antara 300 hingga 10.000 ppm [25].



**Gambar 2.8 Sensor MQ-2 [25]**

Merujuk pada gambar 2.8 merupakan bentuk dari sensor MQ2 dimana Implementasi sensor MQ2 pada mikrokontroler Arduino Mega 2560 memungkinkan deteksi gas berbahaya atau uap yang potensial membahayakan kesehatan manusia atau menyebabkan kebakaran. Sensor MQ2 umumnya digunakan untuk mendeteksi gas seperti gas LPG, metana, karbon monoksida (CO), alkohol, dan sebagainya.

Karakteristik dari sensor MQ2 yaitu VCC: Pin VCC adalah pin input daya yang digunakan untuk memberikan tegangan pasokan, biasanya sekitar 5V, GND: Pin GND adalah pin ground yang harus dihubungkan ke ground mikrokontroler, AOUT (Analog *Output*): Pin AOUT adalah pin keluaran analog yang menghasilkan tegangan analog berdasarkan konsentrasi gas yang terdeteksi, DOUT (Digital *Output*): Pin DOUT adalah pin keluaran digital yang menghasilkan sinyal logika (tinggi/rendah) untuk mengindikasikan deteksi gas, HEATER: Pin HEATER adalah pin untuk menghubungkan elemen pemanas dalam sensor yang membantu mengaktifasi sensor dalam kondisi operasional.

### 2.2.9 Matlab

*Matlab* merupakan perangkat lunak pemrograman yang banyak dipakai untuk memulai sebuah perhitungan serta analisis dalam ilmu matematika, baik di bidang pendidikan maupun industri. Nama "Matlab" merupakan singkatan dari "*Matriks Laboratory*," menandakan bahwa perangkat lunak ini dikembangkan dengan fokus pada penggunaan vektor dan matriks. Matlab memungkinkan pengguna untuk mengimplementasikan perhitungan matematis ke dalam program dengan cara yang lebih mudah dipahami [26].



**Gambar 2.9 Software Matlab [27]**

Untuk mengimplementasikan logika *fuzzy Mamdani* pada mikrokontroler menggunakan perangkat lunak MATLAB, pengguna perlu membuat model logika fuzzy di MATLAB, menguji dan simulasikan model, lalu hasilnya diubah menjadi kode C/C++. Setelah itu, kode ini diintegrasikan ke dalam mikrokontroler seperti Arduino Mega 2560. Pengguna harus menghubungkan sensor dan mengatur keluaran mikrokontroler sesuai dengan aturan logika *fuzzy*. Setelah tahap pengujian dan validasi, pengguna dapat mengoptimasi dan memantau respons sistem secara berkala. Dengan langkah ini, pengguna dapat mengontrol sistem dengan cara cerdas dan adaptif berdasarkan logika *fuzzy Mamdani* yang telah dirancang.

### 2.2.10 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah sebuah metode yang digunakan dalam matematika dan komputer yang memungkinkan manusia untuk menghadapi konsep yang ambigu atau tidak terdefiniskan dengan jelas. Dalam logika *fuzzy*, nilai memiliki tingkat kepastian yang tidak tegas, berada di antara benar dan salah. Teori logika *fuzzy* memungkinkan suatu nilai dapat memiliki kebenaran dan kesalahan secara bersamaan, bergantung pada bobot keanggotaan yang diberikan.

Contohnya, logika *fuzzy* digunakan dalam sistem navigasi robot dan robot pemadam kebakaran, di mana logika ini memberikan sistem pemikiran dan pengambilan keputusan yang fleksibel bagi robot tersebut. [28].

#### a. Pengertian Himpunan *Fuzzy*

Himpunan tegas atau crisp adalah himpunan yang didefinisikan dengan jelas, di mana setiap elemen di dalamnya selalu dapat ditentukan dengan pasti apakah elemen tersebut merupakan anggota dari himpunan atau tidak. Di sisi lain, himpunan *fuzzy* adalah kumpulan nilai-nilai yang memiliki derajat keanggotaan antara 0 hingga 1. Suatu himpunan *fuzzy*  $\hat{A}$  dalam semesta pembicaraan  $X$  dinyatakan dengan fungsi keanggotaan  $\mu$  dalam interval  $[0,1]$ , dapat dinyatakan dengan

$$\mu_{\hat{A}}: X \rightarrow [0,1]$$

Kemudian, ada beberapa konsep penting yang perlu dipahami dalam sistem *fuzzy*. Pertama, variabel *fuzzy* adalah variabel yang digunakan dalam sistem, seperti contoh: suhu, kecepatan, jarak, dan usia. Selanjutnya, terdapat himpunan *fuzzy* yang mewakili kondisi tertentu dalam variabel *fuzzy* tersebut. Himpunan *fuzzy* dapat diberi nama dengan berbagai cara:

1. Nama Linguistik: Menggunakan bahasa alami, misalnya Dingin, Normal, dan Panas.
2. Nama Numeris: Menggunakan nilai atau angka untuk menunjukkan ukuran dari suatu variabel, contohnya 25, 35, 50.
3. Semesta Pembicaraan: Merupakan seluruh nilai yang diperbolehkan untuk digunakan dalam variabel *fuzzy*, contohnya semesta pembicaraan untuk variabel panas:  $[40, 60]$ .
4. Domain: Merupakan seluruh nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan dapat dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*, misalnya Panas =  $[40, 60]$ , yang menandakan kondisi atau ruangan dengan suhu antara 40 hingga 60°C

**b. Operasi pada Himpunan Fuzzy**

Terdapat beberapa operasi yang khusus digunakan dalam himpunan fuzzy untuk menggabungkan dan memodifikasi himpunan fuzzy itu sendiri.

1. Operator AND (DAN)

Operator ini digunakan untuk menemukan himpunan fuzzy baru yang merupakan irisan (*intersection*) dari dua atau lebih himpunan fuzzy. Operasi AND diterapkan dengan memilih nilai minimum dari nilai keanggotaan yang sesuai dari setiap himpunan fuzzy.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots \dots \dots (1)$$

rumus diatas menggambarkan operasi himpunan irisan (*intersection*) antara dua himpunan fuzzy A dan B. Dalam konteks ini,  $\mu_A(x)$  mewakili tingkat keanggotaan dari elemen x dalam himpunan A, sedangkan  $\mu_B(y)$  mewakili tingkat keanggotaan dari elemen y dalam himpunan B. Operasi himpunan irisan menggambarkan bagian yang bersamaan dari dua himpunan fuzzy yang tumpang tindih.

2. Operator OR (ATAU)

Operator ini digunakan untuk menemukan himpunan fuzzy baru yang merupakan gabungan (*union*) dari dua atau lebih himpunan fuzzy. Operasi OR diterapkan dengan memilih nilai maksimum dari nilai keanggotaan yang sesuai dari setiap himpunan fuzzy.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots \dots \dots (2)$$

Rumus diatas menggambarkan operasi himpunan gabungan (*union*) antara dua himpunan fuzzy A dan B. Dalam konteks ini,  $\mu_A(x)$  mewakili tingkat keanggotaan dari elemen x dalam himpunan A, sedangkan  $\mu_B(y)$  mewakili tingkat keanggotaan dari elemen y dalam himpunan B. Operasi himpunan gabungan menggambarkan keseluruhan elemen yang dimiliki oleh salah satu atau kedua himpunan fuzzy.

### 3. Operator NOT (KOMPLEMEN)

Operator ini digunakan untuk menemukan himpunan fuzzy baru yang merupakan kebalikan (complement) dari satu himpunan fuzzy. Operasi NOT diterapkan dengan mengambil nilai kebalikan (1-nilai\_keanggotaan) dari setiap nilai keanggotaan yang sesuai.

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x) \dots \dots \dots (3)$$

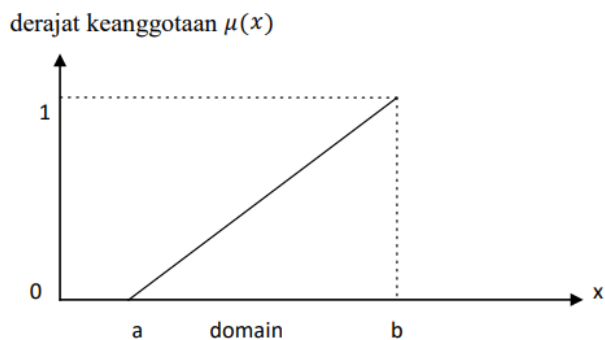
Rumus diatas menggambarkan menggambarkan komplement (negasi) dari tingkat keanggotaan  $\mu_A(x)$  dalam himpunan fuzzy A. Dalam logika fuzzy, komplement dari suatu himpunan fuzzy A menggambarkan elemen-elemen yang tidak termasuk dalam himpunan A. Penerapan rumus ini dalam logika fuzzy Mamdani memungkinkan untuk menggambarkan bagaimana suatu himpunan fuzzy dan komplementnya dapat saling melengkapi. Misalnya, jika  $\mu_A(x)$  menggambarkan sejauh mana suhu termasuk dalam himpunan "dingin," maka  $1 - \mu_A(x)$  menggambarkan sejauh mana suhu tidak termasuk dalam himpunan "dingin," yaitu suhu yang lebih panas.

### c. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang memetakan titik-titik data input ke dalam nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan dengan rentang nilai antara 0 hingga 1.

#### 1. Representasi Linear

- Gambar 2.10 merepresentasikan nilai keanggotaan (0) berada pada nilai domain paling kiri dan bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.



**Gambar 2.10 Representasi Linear Menaik [28]**

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

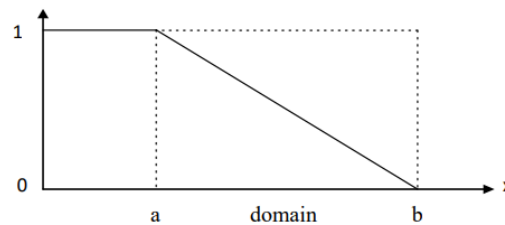
Keterangan :  $x$  = Nilai keanggotaan yang dibahas

$a$  = Nilai anggota terendah

$b$  = Nilai anggota tertinggi

- Gambar 2.11 merepresentasikan linear menurun nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri dan menurun menuju nilai domain dengan derajat keanggotaan lebih kecil.

derajat keanggotaan  $\mu(x)$



**Gambar 2.11 Representasi Linear Menurun**

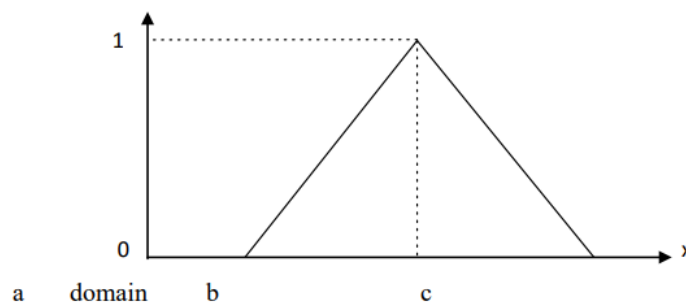
Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

## 2. Representasi kurva Segitiga

Gambar 2.12 merupakan representasi kurva segitiga adalah kombinasi dari dua garis lurus.

derajat keanggotaan  $\mu(x)$



**Gambar 2.12 Representasi Kurva Segitiga**

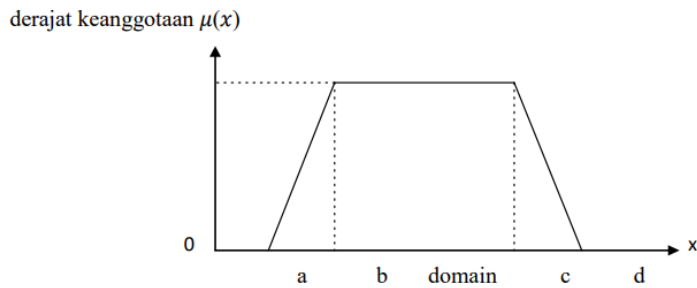


Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

### 3. Representasi kurva Trapesium

Gambar 2.13 merupakan representasi kurva trapesium adalah bentuk dari kurva segitiga, di mana beberapa titik memiliki nilai keanggotaan sebesar 1.



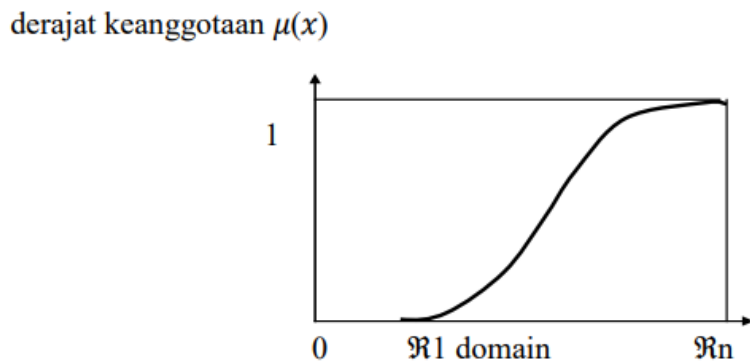
**Gambar 2.13 Representasi Kurva Trapesium**

Fungsi keanggotaan :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c); & x \geq d \end{cases}$$

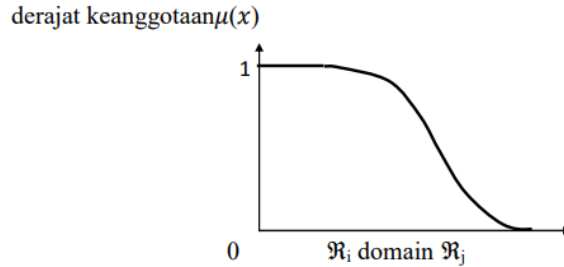
### 4. Representasi kurva bentuk S

Representasi kurva bentuk S (kurva-S atau *sigmoid*) berkaitan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tidak linear.



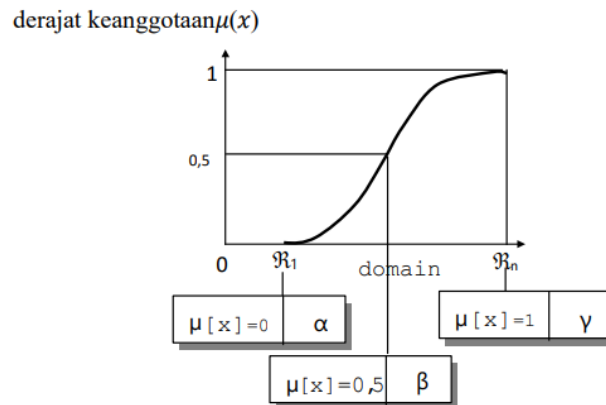
**Gambar 2.14 Kurva S mengalami kenaikan**

Gambar 2.14 representasi untuk kenaikan, kurva S bergerak dari sisi paling kiri (keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (keanggotaan = 1).



**Gambar 2.15 Kurva S mengalami penurunan.**

Gambar 2.15 representasi untuk penurunan, kurva S bergerak dari sisi paling kanan (keanggotaan = 1) ke sisi paling kiri (keanggotaan = 0).



**Gambar 2.16 Parameter fungsi kurva S [28]**

Fungsi keanggotaan :

$$\begin{aligned}
 \underline{0}; & & x \leq \alpha \\
 \underline{s(x; \alpha, \beta, \gamma)} = & \begin{cases} 2((x - \alpha)/(\gamma - \alpha))^2; & \alpha \leq x \leq \beta \\ \underline{1} - 2((\gamma - x)/(\gamma - \alpha))^2; & \beta \leq x \leq \gamma \end{cases} \\
 \underline{1}; & & x \geq \gamma
 \end{aligned}$$

Gambar 2.16 merupakan parameter Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan tiga parameter: nilai keanggotaan nol ( $\alpha$ ), nilai keanggotaan lengkap ( $\gamma$ ), dan titik infleksi atau *crossover* ( $\beta$ ), yaitu titik dengan nilai domain 50% benar.

#### d. Nilai Keanggotaan

Bagian ini menjelaskan tentang rentang nilai keanggotaan (*Membership function*) dari *input* dan *output* pada sistem kerja *fuzzy* seperti yang dijelaskan dalam keterangan berikut.

- a) Suhu : Normal (10-30°C)  
Panas (30-40°C)  
Sangat Panas (40-50°C)
- b) Asap : Renggang (1-50 ppm)  
Sedang (25-100 ppm)  
Pekat (75-150 ppm)
- c) Output : Aman (Suhu dan asap keadaan normal)  
Berbahaya (Suhu dan asap keadaan berbahaya)  
Sangat Berbahaya (Suhu dan asap keadaan sangat berbahaya)

Setelah mendefinisikan fungsi keanggotaan, mikrokontroler akan memproses data dari sensor *input*. Proses selanjutnya adalah menentukan tingkat keanggotaan dari setiap inputan sensor dan menghitung nilai *fuzzyfication* untuk mengubah nilai yang pasti menjadi nilai yang kurang pasti (*grey*). Setelah itu, nilai *grey* akan diproses menggunakan aturan *fuzzy* (*fuzzy rules*) untuk menghasilkan nilai keluaran. Nilai keluaran ini kemudian akan dikonversi dari nilai *grey* menjadi nilai pasti (*crisp*) dalam proses terakhir yang disebut *defuzzyfication*

#### 2.2.11 Logika Fuzzy Mamdani

*Logika Fuzzy Mamdani*, yang juga dikenal sebagai metode *Max-Min*, merupakan salah satu jenis logika *fuzzy* yang menggunakan aturan-aturan *fuzzy* yang digunakan untuk memodelkan suatu pengetahuan atau pemikiran manusia yang bersifat tidak pasti atau ambigu. Konsep himpunan *fuzzy* yang dimana memungkinkan pengambilan suatu keputusan yang lebih adaptif dan fleksibel, dibandingkan dengan metode konvensional yang mengasumsikan nilai pasti atau biner. Konsep inti dalam logika *fuzzy Mamdani* adalah penggunaan himpunan *fuzzy* yang mengizinkan suatu variabel memiliki nilai keanggotaan dalam beberapa himpunan pada saat yang bersamaan.

Pada logika *fuzzy mamdani*. Mempunyai aturan-aturan *fuzzy* yang digunakan untuk mengubah sebuah input ke dalam *output fuzzy*. Aturan-aturan *fuzzy* ini yang menghubungkan antara *input* dan *output*, dan dinyatakan dalam bentuk pernyataan "jika... maka...". Sebagai sebuah contoh, yaitu aturan *fuzzy* yang digunakan untuk mengontrol suhu ruangan dapat dinyatakan kedalam: "Jika suhu ruangan dingin, maka panaskan pemanas ruangan". Pernyataan ini mengasumsikan bahwa suhu ruangan yang dingin memiliki nilai keanggotaan yang tinggi dalam himpunan *fuzzy* "dingin", sementara pemanasan memiliki nilai keanggotaan tinggi dalam himpunan *fuzzy* "panas" [29].

Proses pengambilan keputusan dalam logika *fuzzy Mamdani* melibatkan beberapa tahapan, yang meliputi:

1. *Fuzzification* : adalah langkah dalam sistem logika *fuzzy* di mana variabel masukan dan keluaran dinyatakan dalam bentuk himpunan *fuzzy* yang terbagi menjadi beberapa kategori.
2. *Implication*: tahap dalam metode *Mamdani* dalam logika *fuzzy* di mana nilai-nilai himpunan *fuzzy* yang dihasilkan dari proses *fuzzification* dihubungkan dengan himpunan *fuzzy* dari variabel keluaran menggunakan aturan-aturan logika *fuzzy*. Dalam metode *Mamdani*, biasanya digunakan fungsi aturan yang dikenal sebagai aturan *Min-Max*, di mana setiap aturan menghasilkan kontribusi terkecil dan terbesar dari himpunan *fuzzy* yang terlibat dalam implikasi untuk menghasilkan himpunan *fuzzy output* yang disarikan.
3. *Rules*: Pada *Mamdani* bagian ini, menggunakan beberapa metode untuk memulai sebuah inferensi pada sistem *mamdani*, termasuk metode *Max*.
4. *Defuzzification*: Pada metode *Mamdani*, nilai masukan dari proses *defuzzy* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari aturan-aturan *fuzzy*, dan *output* yang dihasilkan merupakan sebuah bilangan pada domain himpunan *fuzzy*. Sehingga, jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dengan jarak tertentu, maka akan diambil suatu nilai *crisp* sebagai *output*. Terdapat beberapa metode *defuzzy* digunakan dalam komposisi aturan *Mamdani*, yaitu *centroid*, *bosektor*, dll.