



um
The Learning
University

MODUL SISTEM CERDAS

Pegangan Mahasiswa

REASONING

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universita Negeri Malang

Disusun oleh :
Ria Febrianti
Dr. Hakkun Elmunsyah, S.T., M.T
Dr. Eng. Anik Nur Handayani, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirahim,

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas limpahan rahmat serta hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan modul pembelajaran berbantuan SIPEJAR UM dan *e-Collab Classroom* pada mata kuliah Sistem Cerdas dengan topik materi *Reasoning* untuk mahasiswa Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang. Penyajian materi pada modul pembelajaran *Reasoning* ini merujuk pada Rencana Perkuliahan Semester untuk mata kuliah Sistem Cerdas (PTEL667)

Penulisan modul *Reasoning* ini diharapkan dapat menumbuhkan motivasi belajar mahasiswa dan meningkatkan efektivitas pelaksanaan perkuliahan Sistem Cerdas di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang. Selain itu, mahasiswa diharapkan mampu menguasai secara tuntas materi *Reasoning* yang tertulis pada modul pembelajaran terutama pada pelaksanaan pembelajaran secara daring, namun pemanfaatan modul ini juga dapat menunjang kegiatan perkuliahan secara tatap muka. Dengan demikian akan tercapai tujuan perkuliahan Sistem Cerdas yang telah ditetapkan

Penulisan modul *Reasoning* ini tentu tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah membantu proses penyusunan modul pembelajaran *Reasoning* ini. Selain itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa isi ataupun penyajian dari modul pembelajaran ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu, penulis

mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang dapat membangun untuk perbaikan dan pengembangan modul selanjutnya.

Malang, Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	iv
Daftar Tabel	iv
Peta Kedudukan Modul.....	vi
PENDAHULUAN	1
Standar Kompetensi	2
Deskripsi.....	2
Prasyarat	3
Petunjuk Penggunaan Modul.....	3
Tujuan Akhir.....	3
Indikator Penguasaan Kompetensi.....	4
PEMBELAJARAN	5
Jabaran Materi	6
Perkembangan Logika <i>Fuzzy</i>	6
Model Sistem Logika <i>Fuzzy</i>	8
a. <i>Fuzzifikasi</i>	10
b. Proses Inferensi Model Mamdani	18
c. <i>Defuzzifikasi</i>	18
Pemrograman <i>Fuzzy</i> pada <i>Google Colaboratory</i>	20
Rangkuman Materi	22
Materi Pengayaan.....	23
EVALUASI	31
Tes Individu.....	32
Referensi.....	34

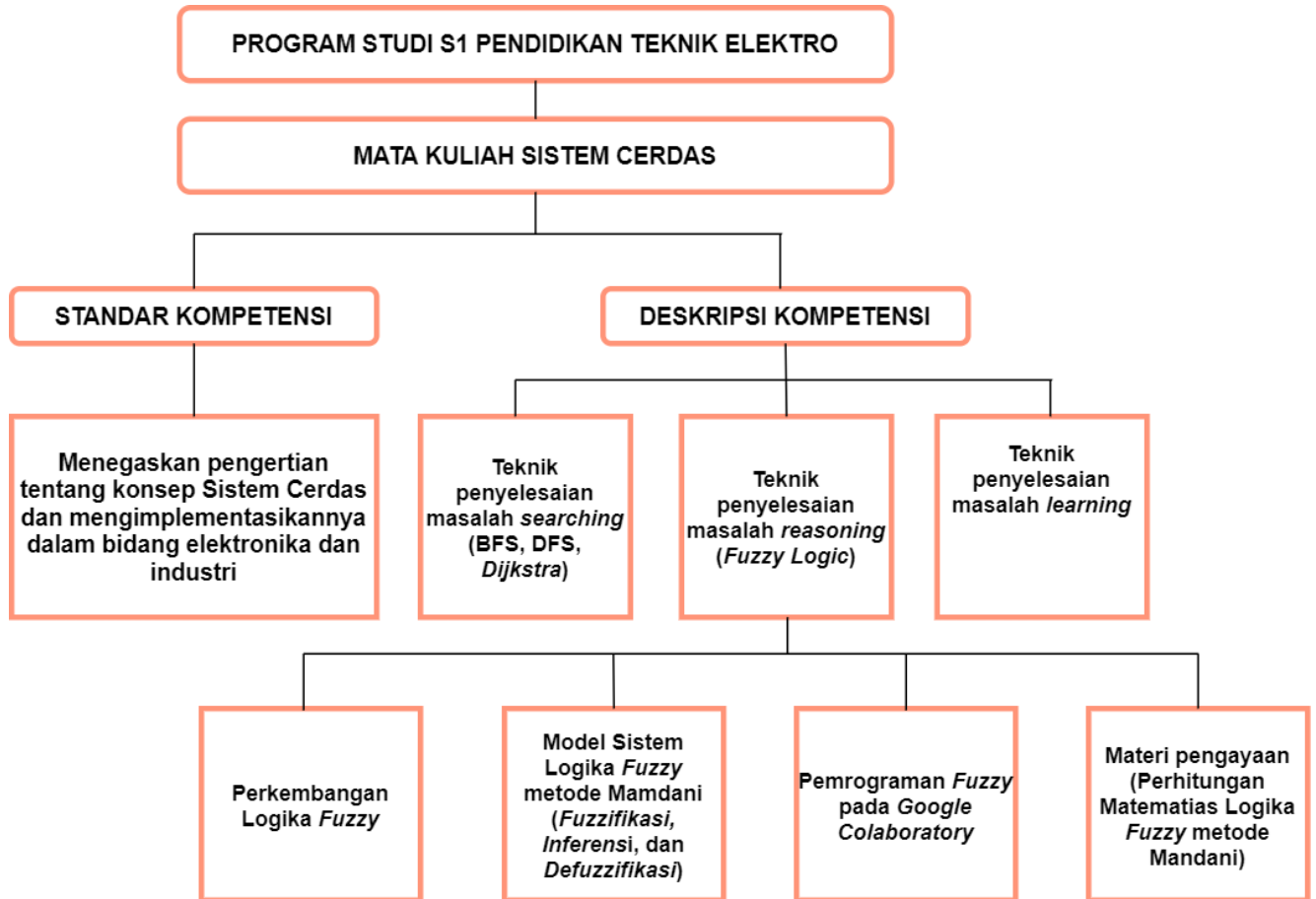
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1 Keanggotaan Masukan dalam Logika Boolean	7
Gambar 2 Keanggotaan Masukan dalam Logika Fuzzy	8
Gambar 3 Model Sistem Pakar Fuzzy	9
Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Segitiga	11
Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Segitiga Variabel Sudut ($^{\circ}$)	11
Gambar 6 Himpunan Fuzzy Kanan0.....	12
Gambar 7 Himpunan Fuzzy Kanan0, $Input=15^{\circ}$	12
Gambar 8 Himpunan Fuzzy Kanan0, $Input = 50^{\circ}$	13
Gambar 9 Fungsi Keanggotaan Variabel Sudut, $Input 9^{\circ}$	14
Gambar 10 Fungsi Keanggotaan Trapesium	14
Gambar 11 Fungsi Keanggotaan Trapesium Variabel Suhu	15
Gambar 12 Himpunan Fuzzy Normal	16
Gambar 13 Himpunan Fuzzy Normal, $Input=6,4$	16
Gambar 14 Himpunan Fuzzy Normal, $Input = 9,9$	17
Gambar 15 Fungsi Keanggotaan Variabel Sensor Suhu, $Input=9,3$	18
Gambar 16 Metode Defuzzifikasi Centroid	19
Gambar 17 Penginstallan Library Scikit-Fuzzy.....	20
Gambar 18 Tampilan setelah Proses Penginstallan	20
Gambar 19 Penginstallan Library Pemrograman Fuzzy	21
Gambar 20 Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu.....	23
Gambar 21 Fungsi Keanggotaan Variabel Asap	23
Gambar 22 Fungsi Keanggotaan Durasi Siraman Air.....	24
Gambar 23 Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu, $Input=42^{\circ}C$	25
Gambar 24 Fungsi Keanggotaan Variabel Asap, $Input=360$ ppm	25
Gambar 25 Fuzzy Set dari Proses Clipping "Durasi Siraman Air is Singkat (0,6)"	28
Gambar 26 Fuzzy Set dari Proses Clipping "Durasi Siraman Air is Normal (0,4)"	29
Gambar 27 Hasil Fuzzy Set Metode Mamdani untuk keluaran Durasi Siraman Air.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1 Basis Pengetahuan Sistem Kontrol Pemadam Kebakaran	24
Tabel 2 <i>Input</i> Sistem Kontrol Penggunaan AC	32
Tabel 3 <i>Output</i> Sistem Kontrol Penggunaan AC	32
Tabel 4 Data Variabel <i>Input</i> dan <i>Output</i> Sistem Kendali Inkubator Telur Otomatis ...	33
Tabel 5 Basis Pengetahuan Sistem Kendali Inkubator Telur Otomatis	33

PETA KEDUDUKAN MODUL



1

PENDAHULUAN

Standar Kompetensi

Deskripsi

Prasyarat

Petunjuk Penggunaan Modul

Tujuan Akhir

**Indikator Penguasaan
Kompetensi**



Standar Kompetensi

Menganalisis tahapan teknik penyelesaian masalah *reasoning* menggunakan logika *fuzzy* dan mengimplentasikan dalam bidang teknik elektronika.



Deskripsi

Modul ini merupakan bahan ajar virtual yang dapat membantu mahasiswa untuk mempelajari salah satu jenis teknik penyelesaian masalah yaitu *reasoning*, yaitu logika *fuzzy*. Modul pembelajaran *fuzzy* ini terdiri dari tiga bab yaitu pendahuluan, pembelajaran, dan evaluasi. Pada bab pertama (pendahuluan), berisi penjelasan standar kompetensi, deskripsi modul, prasyarat, petunjuk penggunaan modul, tujuan akhir, dan *indikator* penguasaan kompetensi.

Bab kedua (Pembelajaran) berisi tentang penyajian materi pembelajaran yang dilengkapi dengan materi pengayaan. Materi yang disajikan pada modul *reasoning* ini meliputi perkembangan logika *fuzzy*, model sistem logika *fuzzy* (Metode Mamdani), pemrograman *fuzzy* pada *google colab*.

Bab ketiga (evaluasi), berisi tes individu sebagai bentuk evaluasi penguasaan mahasiswa terhadap materi yang disajikan. Tes individu yang disajikan berisi soal tentang penerapan *reasoning* (logika *fuzzy*) menggunakan metode Mamdani dengan penyelesaian secara manual. Setelah menyelesaikan modul pembelajaran, diharapkan mahasiswa mampu menganalisis teknik penyelesaian masalah pada sistem cerdas menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani.



Prasyarat

Untuk mendukung proses pembelajaran menggunakan modul ini, mahasiswa diharapkan mampu menguasai beberapa pengetahuan seperti:

1. Mengetahui agent, environment, dan intelligent agent dalam kecerdasan buatan.
2. Mengetahui jenis-jenis *agent* dan *environment*.
3. Mengetahui *knowledge based system* dalam kecerdasan buatan.



Petunjuk Penggunaan Modul

1. Pelajari daftar isi dan peta kedudukan modul untuk mengetahui modul *fuzzy* yang akan dipelajari.
2. Pelajari uraian materi yang disajikan pada setiap kegiatan pembelajaran.
3. Pahami kesulitan yang ditemukan dari uraian materi yang disajikan, tanyakan pada instruktur/dosen pada saat kegiatan pembelajaran.
4. Pahami dan selesaikan soal evaluasi yang disajikan pada modul.



Tujuan Akhir

1. Menelaah konsep logika *fuzzy* dan perkembangan logika *fuzzy*.
2. Mengidentifikasi model logika *fuzzy* (*fuzzifikasi*, inferensi, dan *defuzzifikasi*).
3. Menguraikan jenis-jenis fungsi keanggotaan (*membership function*) dan menghitung derajat keanggotaan (*degree of membership function*) *fuzzy* secara matematis.

4. Merepresentasikan logika *fuzzy* dengan bahasa pemrograman *python* pada *google colaboratory*.



Indikator Penguasaan Kompetensi

Indikator penguasaan kompetensi dari tujuan akhir, yaitu mahasiswa dapat:

1. Mengetahui perkembangan logika *fuzzy*.
2. Menganalisis model logika *fuzzy* menggunakan metode Mamdani.
3. Mengetahui langkah merepresentasikan logika *fuzzy* pada *google colaboratory*.

2

PEMBELAJARAN

**Perkembangan Logika
*Fuzzy***

**Model Sistem Logika *Fuzzy*
metode Mamdani (*Fuzzifikasi,*
Inferensi, dan *Defuzzifikasi*)**

**Pemrograman *Fuzzy* pada
*Google Colaboratory***

**Materi pengayaan
(Perhitungan Matematis
Logika *Fuzzy* metode
Mamdani)**

REASONING



Jabaran Materi

1. Perkembangan Logika Fuzzy
2. Model sistem Logika Fuzzy
3. Pemrograman Fuzzy pada Google Colaboratory



Uraian Materi

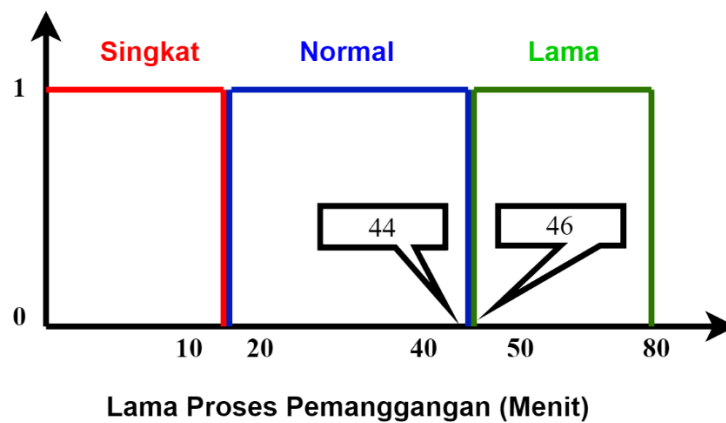
Inovasi baru dalam membangun sistem cerdas (sistem yang memiliki keahlian seperti manusia) yaitu dengan menggunakan *soft computing*. Salah satu unsur pokok dalam *soft computing* adalah logika fuzzy. Penggunaan logika fuzzy mempunyai kemampuan penalaran yang mirip dengan manusia, hal tersebut dikarenakan logika fuzzy mampu memberikan respon berdasarkan informasi yang kualitatif, tidak akurat, dan ambigu. Penyelesaian masalah dengan menggunakan logika fuzzy secara umum mampu menangani masalah yang sulit didefinisikan dengan model matematis. Logika fuzzy pertama diperkenalkan oleh Prof. L. A Zadeh dari Berkeley pada tahun 1965. Pada penerapannya logika fuzzy mempunyai beberapa proses yang meliputi penentuan himpunan fuzzy, penerapan aturan *IF-THEN*, dan proses inferensi fuzzy (Marimin, 2005:10).



1. Perkembangan Logika Fuzzy

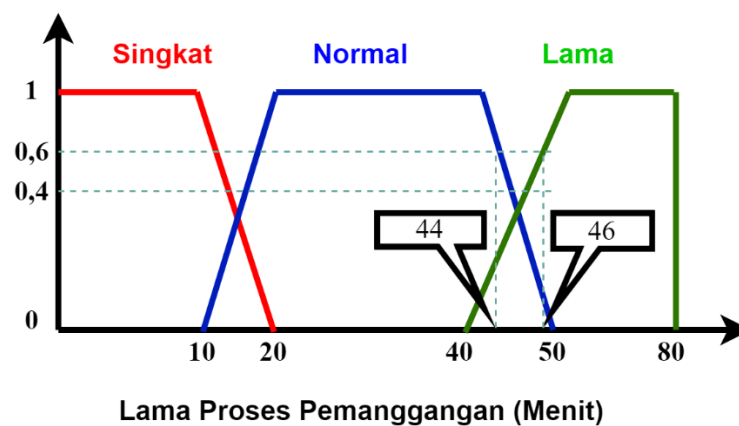
Logika fuzzy adalah suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam bidang ilmu kecerdasan buatan, logika fuzzy merupakan bagian dari salah

satu teknik penyelesaian masalah **reasoning** (Haryanto, 2012). Teknik penyelesaian masalah **reasoning** (teknik penalaran) ialah teknik penyelesaian masalah yang merepresentasikan suatu masalah ke dalam basis pengetahuan logika (logic). Logika *fuzzy* dikembangkan berdasarkan cara penalaran manusia yang cenderung menggunakan pendekatan dari logika boolean. Logika Boolean menyatakan konsep kebenaran dengan dua nilai yaitu 0 dan 1. Hal ini berarti nilai kebenaran pada suatu masukan hanya terdapat dua kemungkinan yaitu “**ya atau tidak**”. Berdasarkan keanggotaan tersebut, maka tidak dapat dibedakan antara nilai keanggotaan yang terletak pada himpunan yang sama (Gambar 1).



Gambar 1 Keanggotaan Masukan dalam Logika Boolean

Ilustrasi Gambar 1, memaparkan keanggotaan logika Boolean dengan masukan 44 dan 46 berada pada set yang berbeda. Masukan 44 berada pada set **Normal** dengan nilai kebenaran 1 dan set tidak normal (**Singkat** atau **Lama**) dengan nilai kebenaran 0. Sedangkan, pada logika *fuzzy*, nilai kebenaran dinyatakan dalam tingkat kebenaran dengan derajat keanggotaan antara 0 sampai dengan 1. Sehingga pada suatu masukan bisa mempunyai dua nilai kebenaran secara bersamaan, namun dengan derajat keanggotaan yang berbeda, sesuai Gambar 2.



Gambar 2 Keanggotaan Masukan dalam Logika Fuzzy

Keanggotaan logika fuzzy (Gambar 2), masukan 44 dan 46 berada pada set yang sama namun derajat keanggotaannya berbeda. Masukan 44 berada pada irisan himpunan **Normal** dengan derajat keanggotaan 0,6 dan irisan himpunan **Lama** dengan derajat keanggotaan 0,4. Sedangkan masukan 46 berada pada irisan himpunan **Normal** dengan derajat keanggotaan 0,4 dan **Lama** dengan derajat keanggotaan 0,6.

Perubahan nilai masukan dalam logika *boolean* dapat mengakibatkan perbedaan kategori yang cukup signifikan, sehingga himpunan *fuzzy* digunakan untuk mengatasi permasalahan kompleks yang tidak bisa diselesaikan menggunakan logika *boolean* (Kusumadewi, 2010). Pada dasarnya *fuzzy* menggunakan variabel linguistik, nilai linguistik, fungsi keanggotaan, dan *rule* IF-THEN *fuzzy*.

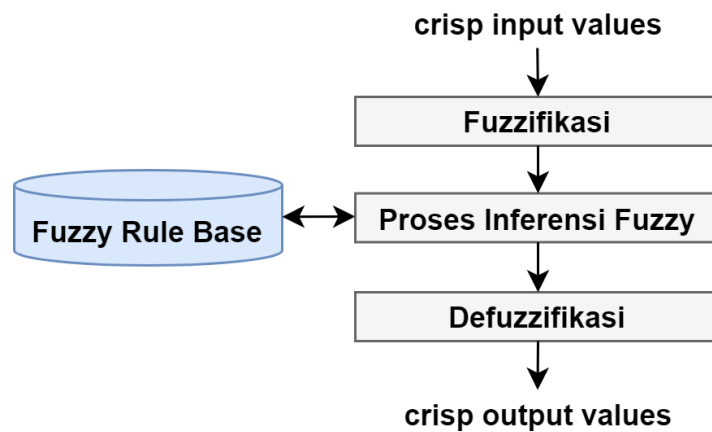


2. Model Sistem Logika Fuzzy

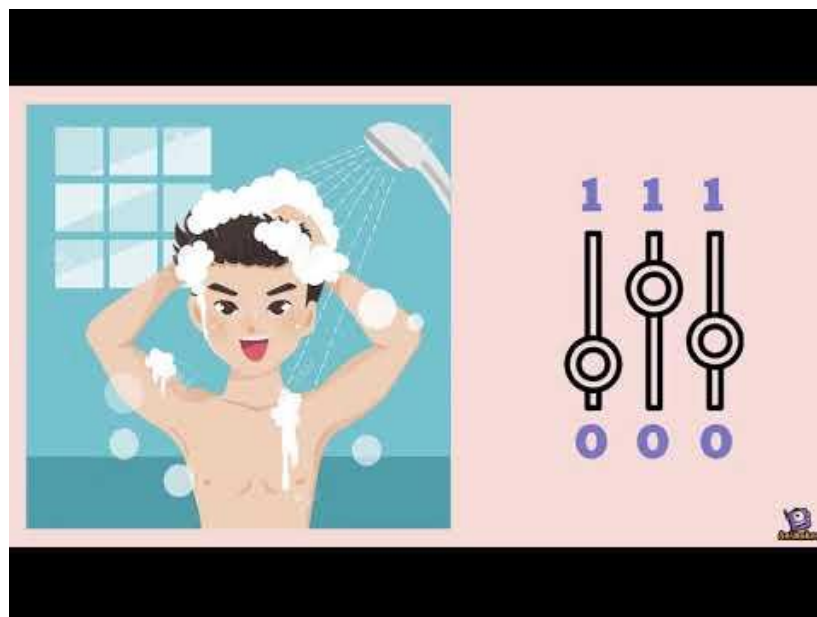
Suatu sistem kendali berbasis aturan *fuzzy* terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *fuzzification*, *inference*, dan *defuzzification* (Suyanto, 2014). Sebuah sistem pakar *fuzzy* terdiri dari 4 buah komponen yang diberi nama: *fuzzifier* (*fuzzifikasi*), *inference engine*

(mesin inferensi), defuzzier (defuzzifikasi), dan fuzzy rule base. Untuk lebih mudahnya, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Dalam fuzzifikasi, *crisp input* di-fuzzifikasi-kan ke dalam nilai-nilai linguistik yang diasosiasikan ke *input* variabel linguistik. Setelah fuzzification (pemfuzzifikasian), mesin inferensi mengacu pada fuzzy rule base yang mengandung rule *IF-THEN* untuk menurunkan nilai-nilai linguistik pada variabel linguistik menengah dan *output*. Setelah nilai linguistik *output* tersedia, defuzzifikasi menghasilkan nilai akhir *crisp* dari nilai-nilai linguistik *output*. Untuk lebih memahami konsep fuzzy logic perhatikan penjelasan pada Video 1.



Gambar 3 Model Sistem Pakar Fuzzy



Video 1 Konsep Fuzzy Logic

a. Fuzzifikasi

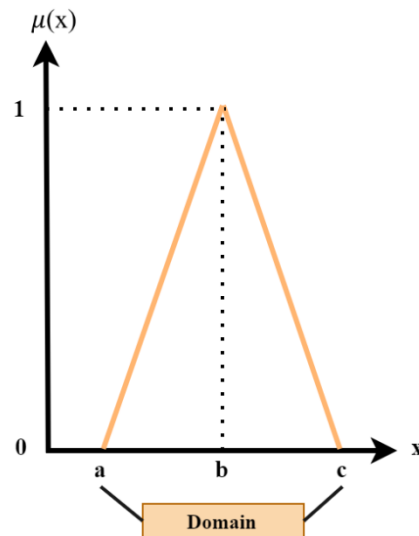
Fuzzifikasi merupakan proses yang digunakan untuk mengubah suatu masukan dari bentuk *crisp input* ke dalam bentuk linguistik (*fuzzy input*) (Suyanto, 2014). Fuzzifikasi disajikan dalam bentuk himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan (*degree of membership function*) suatu item x pada himpunan *fuzzy*. Derajat keanggotaan x dalam suatu himpunan *fuzzy* A , didefinisikan dalam bentuk:

$$\mu_A(x) = [0,1]$$

Berdasarkan derajat keanggotaan tersebut, nilai $[0,1]$ menyatakan interval nilai riil antara 0 sampai dengan 1. Nilai derajat keanggotaan dapat dihitung dengan melakukan pendekatan fungsi (Kusumadewi, 2010). Beberapa jenis fungsi keanggotaan yang digunakan meliputi, fungsi linier, fungsi segitiga, fungsi trapesium, fungsi bentuk bahu, fungsi *sigmoid*, dan fungsi *phi*. Adapun fungsi keanggotaan yang sering dipakai yaitu fungsi segitiga dan trapesium.

- Fungsi Segitiga

Pada fungsi ini, pemetaan *input* ke dalam derajat keanggotaan digambarkan dalam bentuk segitiga yang merupakan gabungan dari dua garis linier seperti pada Gambar 4.

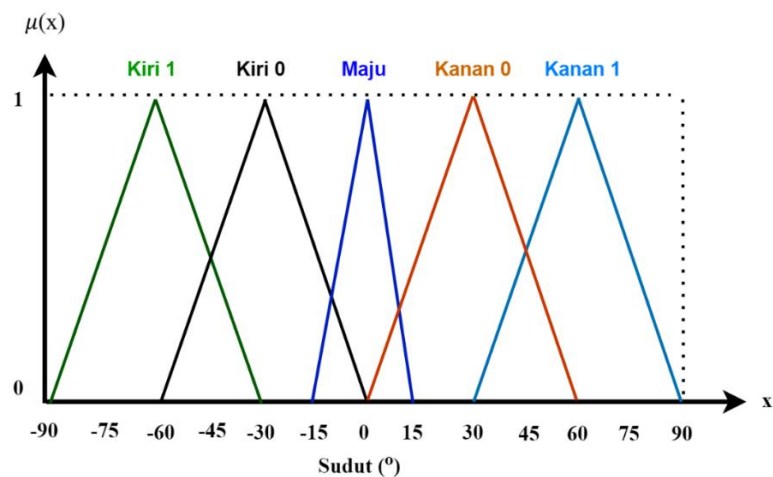


Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Segitiga

Derajat keanggotaan dalam fungsi keanggotaan segitiga dapat dihitung dengan persamaan 1.1.

$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)/(b-a)}{(c-x)/(c-b)} & a < x < b \\ 1 & x = b \end{cases}$1.1
--	----------

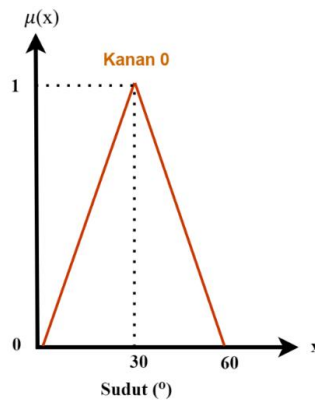
Contoh 1 Variabel *output* sudut pada robot trolis dibuat dengan keanggotaan segitiga seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Segitiga Variabel Sudut (°)

Dari fungsi keanggotaan variabel sudut pada Gambar 5, apabila salah satu himpunannya (misal: **kanan0**) maka fungsi keanggotaannya ditunjukkan pada Gambar 6. Berapa derajat

keanggotaan dengan *input* 15 dan 50 pada himpunan fuzzy Kanan0?



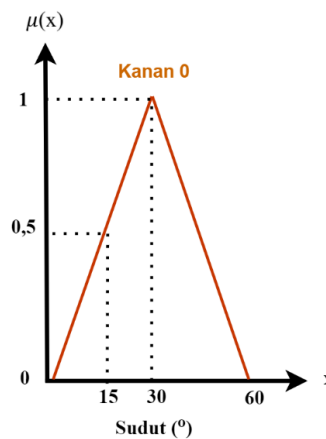
Gambar 6 Himpunan Fuzzy Kanan0

Untuk memperoleh derajat keanggotaannya digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 60 \\ (x - 0)/(30) & 0 < x < 30 \\ (60 - x)/(30) & 30 < x < 60 \\ 1 & x = 30 \end{cases}$$

Derajat keanggotaan untuk *input* sudut 15° himpunan fuzzy Kanan0 ditunjukkan pada Gambar 7.

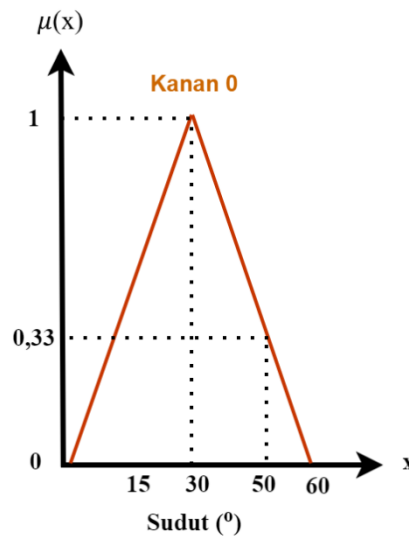
$$\begin{aligned} \mu_{\text{Kanan0}}(x) &= (c-x)/(c-b), \\ \mu_{\text{Kanan0}}(15) &= (15-0)/(30-0) \\ &= 15/30 \\ &= 0,5 \end{aligned}$$



Gambar 7 Himpunan Fuzzy Kanan0, Input=15°

Derajat keanggotaan untuk *input* sudut 50° himpunan fuzzy Kanan0 ditunjukkan pada Gambar 8.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Kanan0}}(x) &= (c-x)/(c-b), \\ \mu_{\text{Kanan0}}(30) &= (60-50)/(60-30) \\ &= 10/30 \\ &= 0,33\end{aligned}$$



Gambar 8 Himpunan Fuzzy Kanan0, Input = 50°

Sedangkan untuk *input* yang terletak pada irisan dua himpunan, perhitungan derajat keanggotaan berdasarkan masing-masing himpunan. Contoh: *input* sudut 9° berada pada irisan **Maju** dan **Kanan0**.

Derajat keanggotaan pada himpunan Maju yaitu:

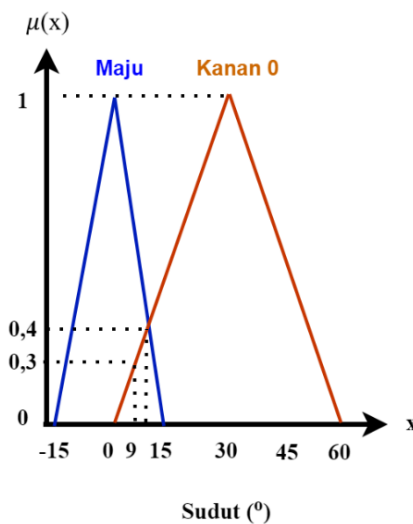
$$\begin{aligned}\mu_{\text{Maju}}(x) &= (c-x)/(c-b), \\ \mu_{\text{Maju}}(9) &= (15-9)/(15-0) \\ &= 6/15 \\ &= 0,4\end{aligned}$$

Derajat keanggotaan pada himpunan Kanan0 yaitu:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Kanan0}}(x) &= (c-x)/(c-b), \\ \mu_{\text{Kanan0}}(9) &= (9-0)/(30-0) \\ &= 9/30\end{aligned}$$

$$= 0,3$$

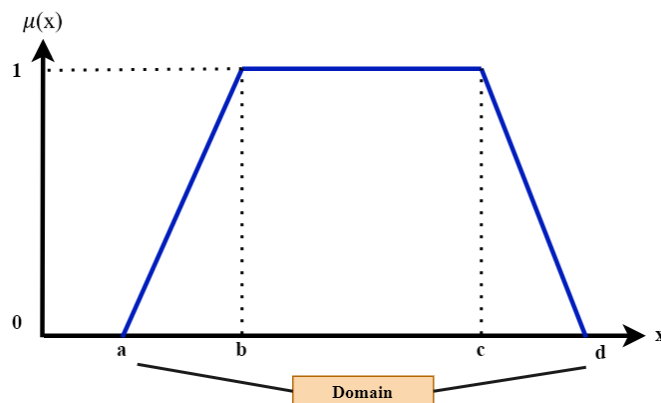
Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa keluaran sudut 9° berada pada linguistik **Maju** dengan derajat keanggotaan sebesar 0,4 dan linguistik **Kanan0** dengan derajat keanggotaan sebesar 0,3 (Gambar 9).



Gambar 9 Fungsi Keanggotaan Variabel Sudut, Input 9°

- Fungsi Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium merupakan pemetaan *input* ke dalam derajat keanggotaan. Fungsi tersebut digambarkan dalam bentuk trapesium sama kaki yang pada dasarnya merupakan dua bentuk segitiga namun terdapat beberapa titik yang memisahkan, serta memiliki derajat keanggotaan yang sama dengan satu. Gambar 10 menunjukkan fungsi keanggotaan trapesium.

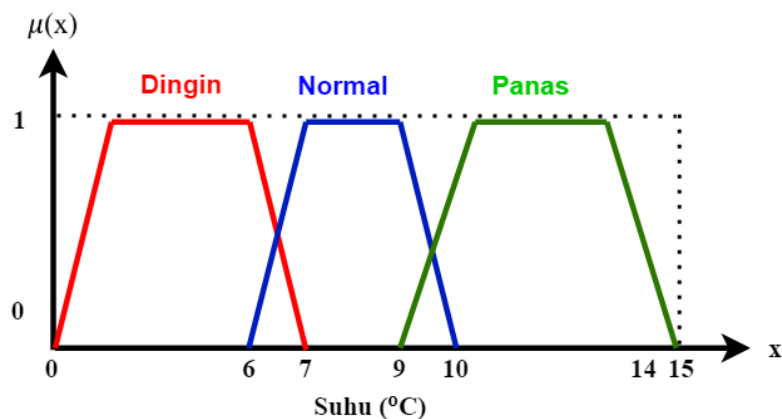


Gambar 10 Fungsi Keanggotaan Trapesium

Derajat keanggotaan dalam fungsi keanggotaan trapesium dapat dihitung dengan persamaan 1.2.

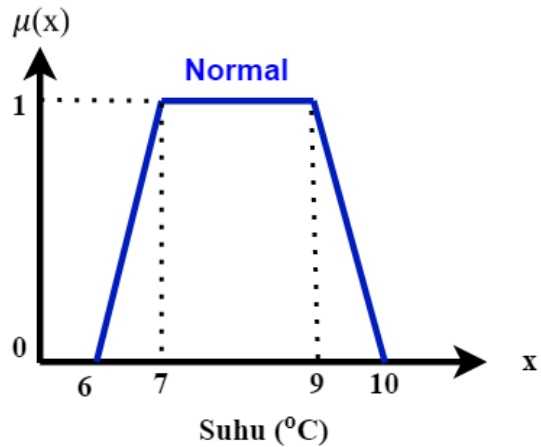
$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x-a)/(b-a) & a < x < b \\ (d-x)/(d-c) & c < x < d \\ 1 & b \leq x \leq c \end{cases}$1.2
---	----------

Contoh 2 Sensor pendeteksi suhu otomatis dalam sistem kontrol pada suatu ruangan memiliki fungsi keanggotaan variabel *input* dengan tiga kondisi, yaitu dingin, normal, panas. Fungsi keanggotaan tersebut dibuat menggunakan fungsi trapesium yang ditunjukkan Gambar 11.



Gambar 11 Fungsi Keanggotaan Trapesium Variabel Suhu

Berdasarkan fungsi keanggotaan variabel sensor pada Gambar 11, apabila diambil salah satu himpunan (missal: **Normal**) maka fungsi keanggotaannya dapat ditunjukkan pada Gambar 12. Berapa derajat keanggotaan untuk *input* 6.4 dan 9.9 pada himpunan **Normal**?



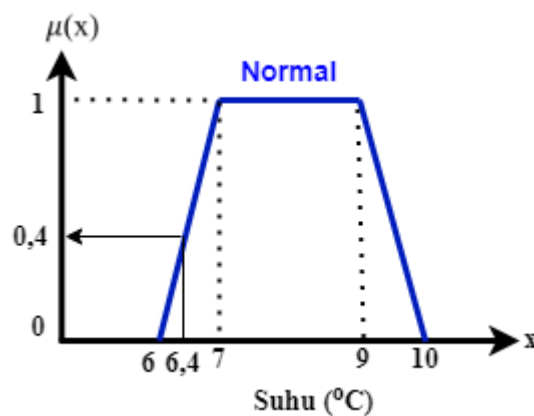
Gambar 12 Himpunan Fuzzy Normal

Untuk memperoleh derajat keanggotaannya digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 6 \text{ atau } x \geq 10 \\ (x - 6) & 6 < x < 7 \\ (10 - x) & 9 < x < 10 \\ 1 & 7 \leq x \leq 9 \end{cases}$$

Derajat keanggotaan untuk *input* suhu=6,4°C pada himpunan fuzzy **Normal** ditunjukkan pada Gambar 13.

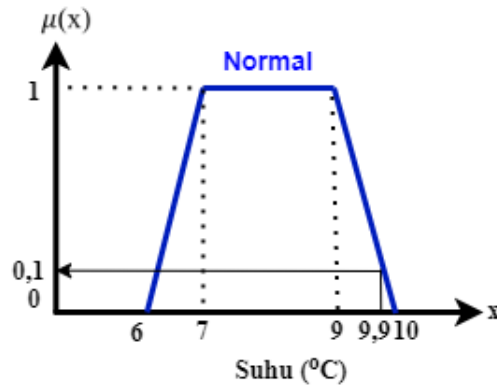
$$\begin{aligned} \mu_{\text{Normal}}(x) &= (x-a)/(b-a), \\ \mu_{\text{Normal}}(6,4) &= ((6,4)-6)/(7-6) \\ &= 0,4/1 \\ &= 0,4 \end{aligned}$$



Gambar 13 Himpunan Fuzzy Normal, Input=6,4

Pada derajat keanggotaan untuk *input* suhu=9,9°C pada himpunan fuzzy **Normal** ditunjukkan pada Gambar 14.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Normal}}(x) &= (d-x)/(d-c), \\ \mu_{\text{Normal}}(9,9) &= (10 - (9,9))/(10-9) \\ &= 0,1/1 \\ &= 0,1\end{aligned}$$



Gambar 14 Himpunan Fuzzy Normal, Input = 9,9

Sedangkan untuk *input* yang terletak pada irisan dua himpunan, perhitungan derajat keanggotaan dilakukan berdasarkan masing-masing himpunan. Contoh: *input* suhu 9,3°C berada pada irisan **Normal** dan **Panas**.

Derajat keanggotaan pada himpunan Normal yaitu:

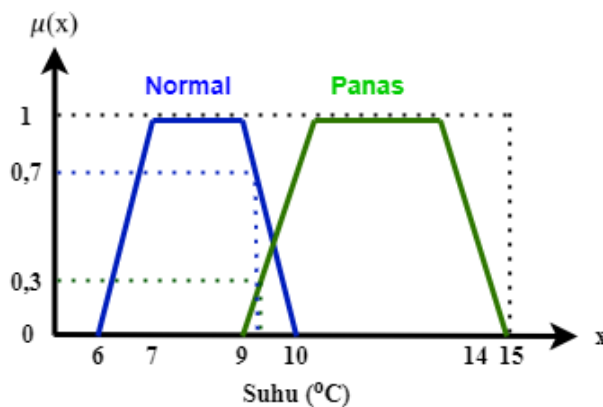
$$\begin{aligned}\mu_{\text{Normal}}(x) &= (d-x)/(d-c), \\ \mu_{\text{Normal}}(9,3) &= (10-(9,3))/(10-9) \\ &= 0,7/1 \\ &= 0,7\end{aligned}$$

Derajat keanggotaan pada himpunan Panas yaitu:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Panas}}(x) &= (x-a)/(b-a), \\ \mu_{\text{Panas}}(9,3) &= ((9,3)-9)/(10-9) \\ &= 0,3/1 \\ &= 0,3\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa keluaran suhu 9,3°C berada pada linguistik **Normal** dengan derajat

keanggotaan sebesar 0,7 dan linguistik **Panas** dengan derajat keanggotaan sebesar 0,3 (Gambar 15).



Gambar 15 Fungsi Keanggotaan Variabel Sensor Suhu, Input=9,3

b. Proses Inferensi Model Mamdani

Model mamdani yang digunakan pada proses inferensi fuzzy, pertama kali dikenalkan oleh Ibrahim Mamdani pada tahun 1975 yang disebut sebagai metode Min-Max (Subakti, 2014). Aturan fuzzy Mamdani dinyatakan dalam bentuk:

IF (x is A) AND (y is B) THEN (z is C)

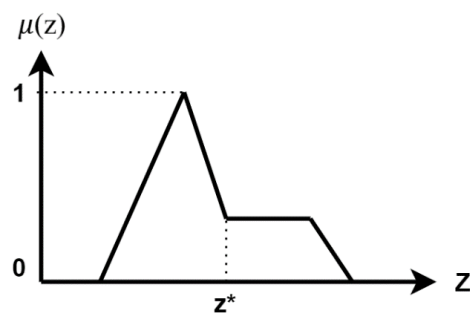
Nilai A, B, dan C menunjukkan himpunan fuzzy. Sedangkan variabel x, y, dan z merupakan nilai crisp. Pada model Mamdani, variabel *input* dan *output* menjadi satu atau beberapa himpunan fuzzy. Fungsi implikasi pada model Mamdani menggunakan fungsi **MIN** sedangkan komposisi antar aturan (*rule*) menggunakan fungsi **MAX** untuk menghasilkan himpunan fuzzy baru.

c. Defuzzifikasi

Pada pengaturan sistem kendali, hasil keluarannya merupakan suatu nilai diskrit. Pada sistem kendali berbasis aturan fuzzy, fuzzy output sebagai hasil keluaran dari proses inferensi harus diubah menjadi sebuah nilai keluaran yang tepat. Proses defuzzifikasi merupakan proses perubahan fuzzy output menjadi crisp output (numerik) berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Nilai keluaran dihitung dengan cara menjumlahkan hasil perkalian

keanggotaan himpunan pada setiap masukan ($\mu(z)$) dengan nilai keluaran yang sudah ditetapkan (z). keluaran dari proses *fuzzy* dapat berupa satuan logika dari dua atau lebih fungsi keanggotaan *fuzzy* dan didefinisikan pada himpunan semesta keluaran (Pandjaitan, 2007).

Terdapat beberapa jenis metode *defuzzifikasi* yang dapat digunakan dalam logika *fuzzy* yaitu *centroid method*, *height method*, *first (or last) of maxima*, *mean-max method*, dan *weighted average*. Namun pada pembahasan ini hanya menjelaskan tentang *centroid method*. Metode *center of area* (COA) atau *center of gravity* (COG) merupakan nama lain dari metode *defuzzifikasi centroid method*. Contoh grafik metode *defuzzifikasi centroid method*, ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Metode Defuzzifikasi Centroid

Perhitungan nilai *crisp output* pada metode *defuzzifikasi centroid*, menggunakan Persamaan 1.1. Titik-titik pada area keluaran *fuzzy* ditentukan secara acak untuk mendapatkan satu titik (*crisp output*) sebagai pusat area (*center of gravity* atau *center of area*).

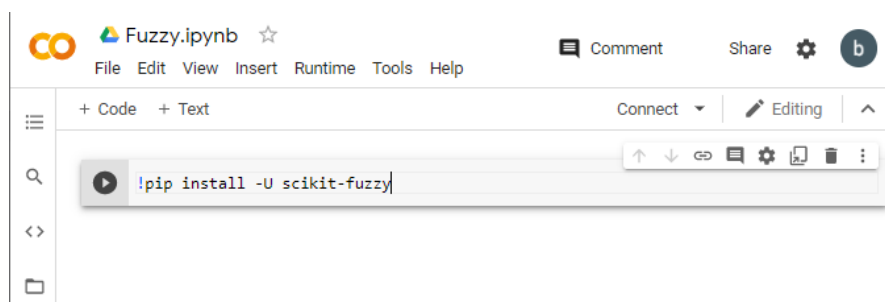
$$z^* = \frac{\sum z \cdot \mu(z)}{\sum \mu(z)} \dots\dots\dots (1.1)$$

Keterangan:

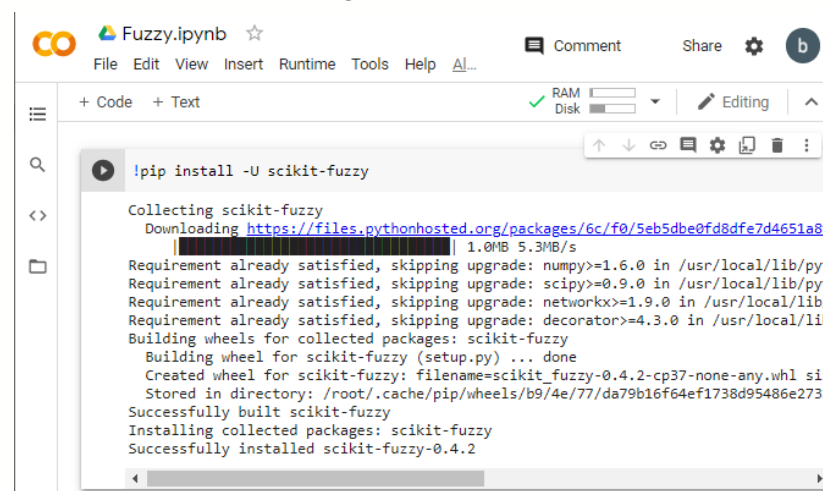
- z : nilai *crisp*
- $\mu(z)$: derajat keanggotaan dari z

3. Pemrograman Fuzzy pada Google Colaboratory

Pada modul ini pemrograman menggunakan bahasa pemrograman *python*. *Library* yang digunakan pada pemrograman fuzzy yaitu *library scikit-fuzzy*. Pemanfaatan *google colaboratory* yaitu untuk mempercepat komputasi dengan fitur GPU yang terdapat di dalamnya. Buatlah file baru *google colaboratory* menggunakan perintah berikut (Gambar 17).



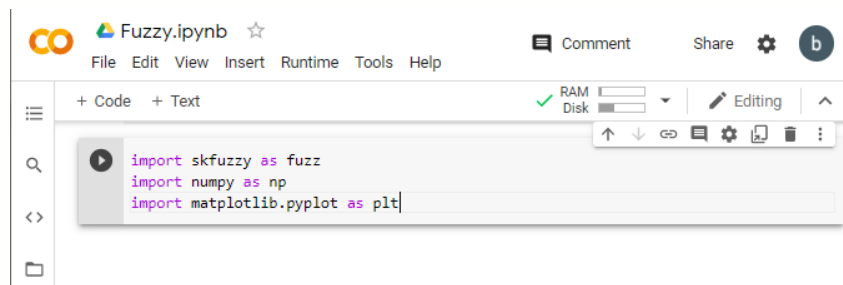
Gambar 17 Penginstalan Library Scikit-Fuzzy



Gambar 18 Tampilan setelah Proses Penginstalan

Sedangkan *library* yang digunakan untuk pemrograman fuzzy menggunakan *library* dari *skfuzzy*, *numpy*, dan *matplotlib*. *Library skfuzzy* merupakan *library* yang digunakan untuk memanggil perintah fuzzy, *library numpy* merupakan *library python* yang fokus pada *scientific computing*, dan *library matplotlib* merupakan *library python* yang fokus pada visualisasi data. Berikut merupakan

deklarasi *import library* menggunakan *google colaboratory* (Gambar 19).



Gambar 19 Penginstallah *Library* Pemrograman *Fuzzy*

Penjabaran mengenai pemrograman *fuzzy* lebih lanjut dapat diakses melalui jobsheet yang terdapat pada *e-collab classroom*. Pada jobsheet tersebut terdapat pemrograman yang terstruktur dimulai dari *fuzzifikasi*, *inference engine*, dan *defuzzifikasi* sehingga tahapan pada setiap logika *fuzzy* dapat diterapkan.



Rangkuman Materi

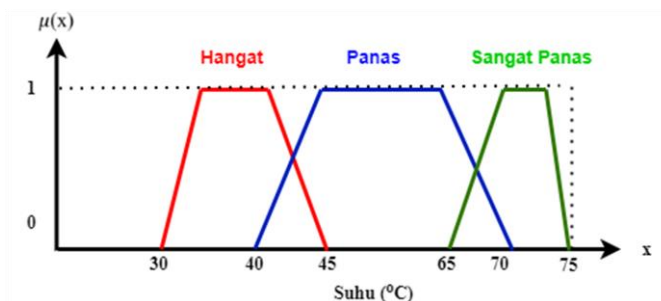
Berdasarkan pemaparan materi tersebut dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah
2. Sebuah sistem pakar *fuzzy* terdiri dari 4 buah komponen yang diberi nama: *fuzzifier* (*fuzzifikasi*), *inference engine* (mesin/proses inferensi), *defuzzier* (*defuzzifikasi*), dan *fuzzy rule base*
3. *Fuzzifikasi* merupakan proses yang digunakan untuk mengubah suatu masukan dari bentuk *crisp input* ke dalam bentuk linguistik (*fuzzy input*). Beberapa jenis fungsi keanggotaan yang digunakan meliputi, fungsi linier, fungsi segitiga, fungsi trapesium, fungsi bentuk bahu, fungsi sigmoid, dan fungsi *phi*
4. Pemrograman pada *google colaboratory* menggunakan bahasa pemrograman *python*. Adapun *library* yang digunakan pada pemrograman *fuzzy* yaitu *library scikit-fuzzy*.

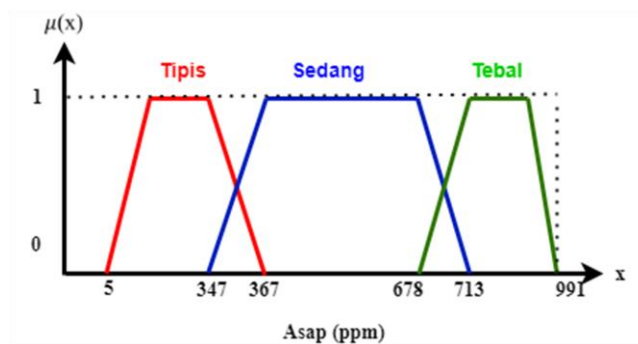


Materi Pengayaan

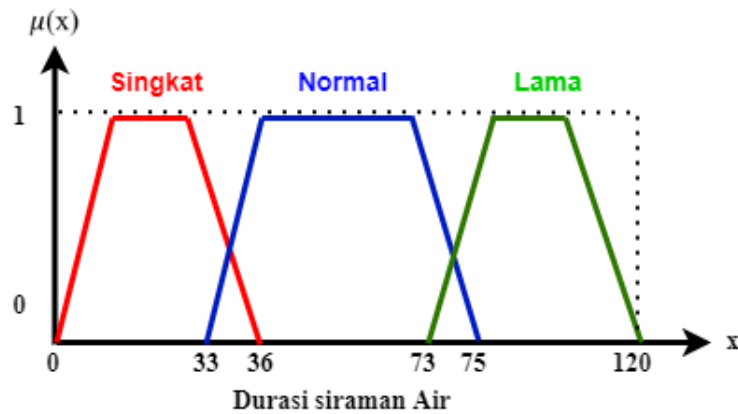
Sistem kontrol pemadam kebakaran secara otomatis dalam suatu ruangan tertutup dirancang untuk mengatasi kebakaran yang minim diketahui oleh banyak orang. Gejala-gejala umum yang dapat mengindikasikan adanya kebakaran antara lain meningkatnya suhu ruang dan asap. Dengan adanya gejala tersebut maka dibutuhkan alat pengaman yang mampu bekerja secara otomatis. Perancangan sistem kontrol yang akan dibuat menggunakan prinsip kendali logika *fuzzy* dengan parameter berupa suhu (Gambar 20) dan asap pada suatu ruangan (Gambar 21). Keluaran sistem yang diinginkan berupa durasi semprotan air dengan himpunan *fuzzy* singkat, normal dan lama (Gambar 22).



Gambar 20 Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu



Gambar 21 Fungsi Keanggotaan Variabel Asap



Gambar 22 Fungsi Keanggotaan Durasi Siraman Air

Tabel 1 Basis Pengetahuan Sistem Kontrol Pemadam Kebakaran

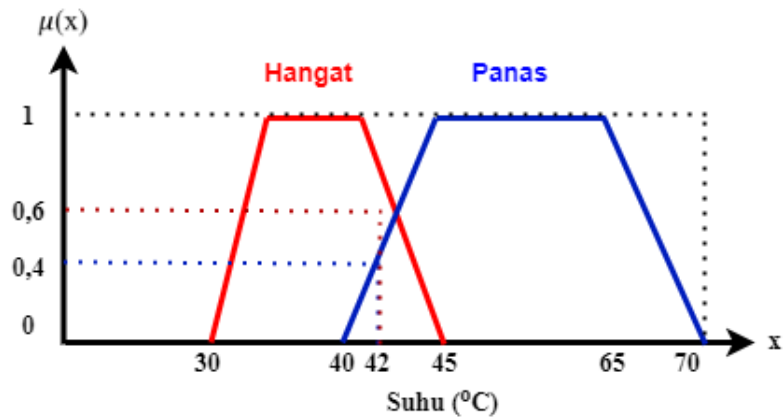
Suhu Asap	Hangat	Panas	Sangat Panas
Tipis	Singkat	Normal	Normal
Sedang	Singkat	Normal	Lama
Tebal	Normal	Lama	Lama

Dengan menggunakan data fungsi keanggotaan variabel *input* dan *output* sistem serta basis pengetahuan pada Tabel 1 bagaimanakah *output* dari *engine* tersebut menggunakan Model Mamdani dengan langkah matematis jika diketahui *input* nilai suhu 42°C dan *input* nilai asap 360 ppm?

Tahapan penyelesaian sistem kendali berbasis aturan *fuzzy* menggunakan model Mamdani pada sistem kontrol pemadam kebakaran otomatis (ruang tertutup) dengan nilai *input* suhu 42°C dan nilai asap 360 ppm adalah sebagai berikut:

- **Fuzzifikasi**

Input suhu 42°C berada pada irisan himpunan Hangat dan Panas (Gambar 23).



Gambar 23 Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu, Input=42°C

Derajat keanggotaan untuk himpunan **Hangat** yaitu:

$$\mu_{\text{Hangat}}(x) = (45-x)/(5),$$

$$\mu_{\text{Hangat}}(42) = (45-42)/(5)$$

$$= 3/5$$

$$= 0,6$$

Derajat keanggotaan untuk himpunan **Panas** yaitu:

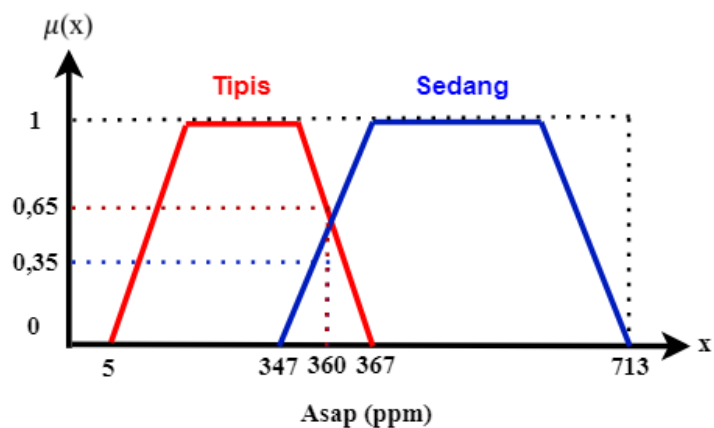
$$\mu_{\text{Panas}}(x) = (x-40)/(5),$$

$$\mu_{\text{Panas}}(42) = (42-40)/(5)$$

$$= 2/5$$

$$= 0,4$$

Input asap 360 ppm berada pada irisan himpunan Hangat dan Panas (Gambar 24).



Gambar 24 Fungsi Keanggotaan Variabel Asap, Input=360 ppm

Derajat keanggotaan untuk himpunan **Tipis** yaitu:

$$\mu_{\text{Normal}}(x) = (367-x)/(20),$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Normal}}(360) &= (367/360)/(20) \\ &= 7/20 \\ &= 0,35\end{aligned}$$

Derajat keanggotaan untuk himpunan **Sedang** yaitu:

$$\mu_{\text{Tebal}}(x) = (x-347)/(20),$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Tebal}}(360) &= (360-347)/(20) \\ &= 13/20 \\ &= 0,65\end{aligned}$$

- **Proses Inferensi**

Berdasarkan *input* 4 data fuzzy tersebut, Hangat (0,6), Panas (0,4), Sedang (0,35), Tebal (0,65), diperoleh 4 aturan (dari 9 aturan) yang dapat diaplikasikan, antara lain:

[R1] IF Suhu is **Hangat** AND Jumlah Asap is **Tipis** THEN Durasi Siraman Air is **Singkat**

[R2] IF Suhu is **Hangat** AND Jumlah Asap is **Sedang** THEN Durasi Siraman Air is **Singkat**

[R4] IF Suhu is **Panas** AND Jumlah Asap is **Tipis** THEN Durasi Siraman Air is **Normal**

[R5] IF Suhu is **Panas** AND Jumlah Asap is **Sedang** THEN Durasi Siraman Air is **Normal**

Berdasarkan empat fuzzy *input* dan aturan fuzzy tersebut, maka penyelesaian sistem kendali berbasis aturan fuzzy menggunakan model Mamdani dilakukan dengan mengaplikasikan fungsi implikasi minimum (MIN) dan nilai linguistik dengan menggunakan *conjunction* (\cap)

[R1] IF Suhu is **Hangat** AND Jumlah Asap is **Tipis** THEN Durasi Siraman Air is **Singkat**

$$\alpha\text{-predikat} = \mu_{\text{Hangat}} \cap \mu_{\text{Tipis}}$$

$$= \min\{\mu_{\text{Hangat}}(42), \mu_{\text{Tipis}}(360)\}$$

$$= \min(0,6 ; 0,35)$$

$$= 0,35$$

[R2] IF Suhu is **Hangat** AND Jumlah Asap is **Sedang** THEN Durasi Siraman Air is **Singkat**

$$\alpha\text{-predikat} = \mu_{\text{Hangat}} \cap \mu_{\text{Sedang}}$$

$$= \min\{\mu_{\text{Hangat}}(42), \mu_{\text{Sedang}}(360)\}$$

$$= \min(0,6 ; 0,65)$$

$$= 0,6$$

[R4] IF Suhu is **Panas** AND Jumlah Asap is **Tipis** THEN Durasi Siraman Air is **Normal**

$$\alpha\text{-predikat} = \mu_{\text{Panas}} \cap \mu_{\text{Tipis}}$$

$$= \min\{\mu_{\text{Panas}}(42), \mu_{\text{Tipis}}(360)\}$$

$$= \min(0,4 ; 0,35)$$

$$= 0,35$$

[R5] IF Suhu is **Panas** AND Jumlah Asap is **Sedang** THEN Durasi Siraman Air is **Normal**

$$\alpha\text{-predikat} = \mu_{\text{Panas}} \cap \mu_{\text{Sedang}}$$

$$= \min\{\mu_{\text{Panas}}(42), \mu_{\text{Sedang}}(360)\}$$

$$= \min(0,4 ; 0,65)$$

$$= 0,4$$

Setelah melakukan implikasi fungsi MIN, diperoleh empat nilai linguistik untuk keluaran sistem kontrol pemadam kebakaran, yaitu **Singkat (0,35)**, **Singkat (0,6)**, **Normal (0,35)**, **Normal (0,4)**. Selanjutnya dilakukan

komposisi aturan menggunakan fungsi *maximum* (MAX) berdasarkan nilai linguistik tersebut menggunakan disjunction (\cup) seperti berikut:

- Durasi Siraman Air is Singkat (0,35) \cup Durasi Siraman Air is Singkat (0,6)

$$\mu_{\text{Singkat}} = \max (0,35 ; 0,6)$$

$$\mu_{\text{Singkat}} = 0,6$$

- Durasi Siraman Air is Normal (0,35) \cup Durasi Siraman Air is Normal (0,4)

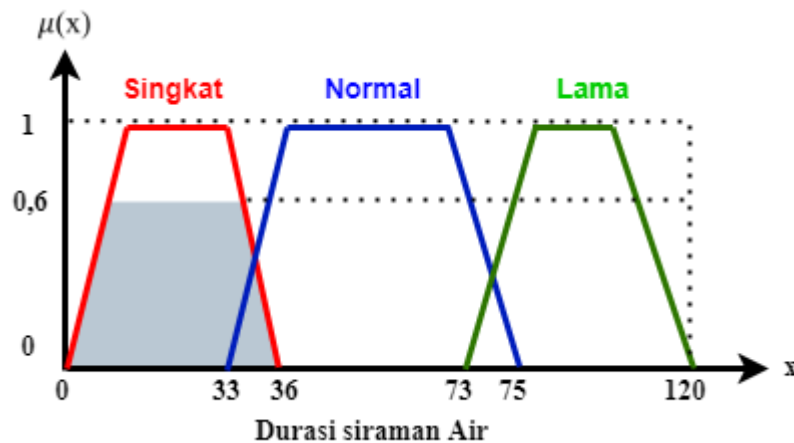
$$\mu_{\text{Normal}} = \max (0,35 ; 0,4)$$

$$\mu_{\text{Normal}} = 0,4$$

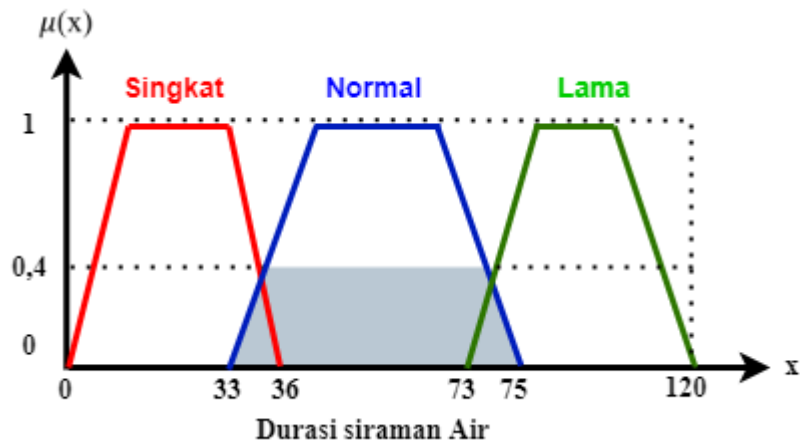
Dari hasil tersebut maka dapat peroleh dua pernyataan sebagai keluaran sistem, yaitu:

- (a) Durasi Siraman Air is Singkat (0,6)
- (b) Durasi Siraman Air is Normal (0,4)

Proses inferensi menggunakan model Mamdani akan menghasilkan daerah fungsi keanggotaan untuk keluaran Singkat (0,6) (Gambar 25) dan Normal (0,4) (Gambar 26) melalui proses clipping.

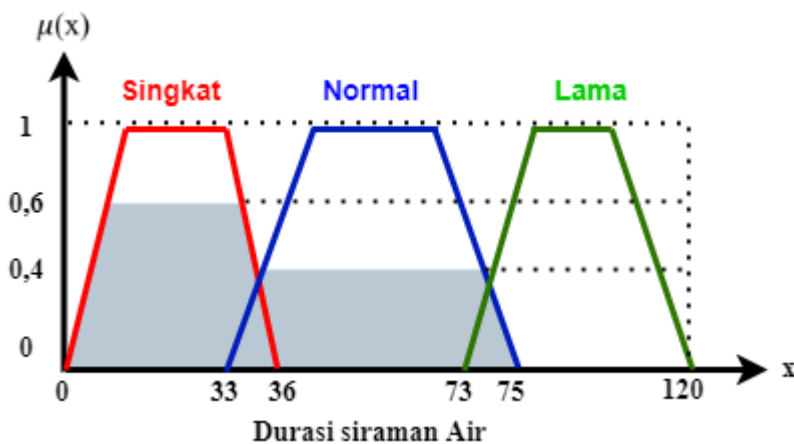


Gambar 25 Fuzzy Set dari Proses Clipping "Durasi Siraman Air is Singkat (0,6)"



Gambar 26 Fuzzy Set dari Proses Clipping “Durasi Siraman Air is Normal (0,4)”

Komposisi dari kedua *fuzzy set*, Durasi Siraman Air is Singkat (0,6) dan Durasi Siraman Air is Normal (0,4) pada Gambar 25 dan Gambar 26, menghasilkan *fuzzy set* tunggal yang ditunjukkan pada Gambar 27 yang akan digunakan untuk proses *defuzzifikasi*.



Gambar 27 Hasil Fuzzy Set Metode Mamdani untuk keluaran Durasi Siraman Air

- **Defuzzifikasi**

Melalui metode *defuzzifikasi* COA, ditentukan terlebih dahulu titik-titik yang akan digunakan untuk menghitung *crisp output*. Untuk domain himpunan Singkat, diambil nilai *crisp* (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, ..., 34), sedangkan pada domain himpunan Normal diambil dari nilai *crisp* (35, 36, 37, 38, 39, 40,

41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, ..., 74). Sehingga diperoleh nilai *crisp output* dari sistem tersebut sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 z^* &= \frac{\sum z \cdot \mu(z)}{\sum \mu(z)} \\
 z^* &= \frac{(0+1+2+3+\dots+34)x(0,6)+(35+36+37+\dots+74)x(0,4)}{35(0,6)+40(0,4)} \\
 &= \frac{595(0,6)+2180(0,4)}{21+16} \\
 &= \frac{357+872}{37} \\
 &= \frac{1229}{37} \\
 &= 33,22
 \end{aligned}$$

Jadi *output* durasi siraman air yang dihasilkan dari nilai *input* suhu 42°C dan nilai asap 360 ppm adalah **SINGKAT** dengan nilai *crisp output* 33,22

3

EVALUASI

Tes Individu

Referensi

**STUDI KASUS 1**

Suatu sistem kontrol AC otomatis dalam suatu ruangan dirancang untuk mengatasi penggunaan daya listrik secara berlebih, karena penggunaan AC secara manual dilakukan tanpa mempertimbangkan temperatur udara dan banyaknya jumlah orang dalam ruangan. Perancangan sistem kontrol yang akan dibuat menggunakan prinsip kendali logika *fuzzy* dengan parameter *input* berupa suhu dan jumlah orang yang berada dalam suatu ruangan (Tabel 2). Keluaran sistem yang diinginkan berupa temperatur AC pada Tabel 3. Bagaimanakah langkah matematis sistem kontrol tersebut menggunakan inferensi Model Mamdani dan metode *defuzzifikasi* COA untuk *input* suhu 34°C dan jumlah orang 37?

Tabel 2 Input Sistem Kontrol Penggunaan AC

SUHU (°C)		JUMLAH ORANG		TEMPERATUR AC	
Label	Domain	Label	Domain	Label	Domain
Dingin	0 – 25	Sedikit	0 – 15	Dingin	10 – 20
Normal	20 – 35	Sedang	12 – 38	Sejuk	16 – 30
Panas	30 – 55	Banyak	35 – 50	Normal	26 – 36

Tabel 3 Output Sistem Kontrol Penggunaan AC

Suhu Udara Jml Orang			
	Dingin	Normal	Panas
Sedikit	Normal	Sejuk	Sejuk
Sedang	Normal	Sejuk	Dingin
Banyak	Sejuk	Dingin	Dingin

STUDI KASUS 2

Dengan menggunakan data *input* dan *output* (Tabel 4) serta basis pengetahuan yang telah ditetapkan (Tabel 5), bagaimanakah langkah matematis sistem kendali inkubator telur tersebut menggunakan inferensi Model Mamdani dan metode *defuzzifikasi* COA untuk *input* suhu 33°C dan *input* kelembapan 57%?

Tabel 4 Data Variabel Input dan Output Sistem Kendali Inkubator Telur Otomatis

SUHU (°C)		KELEMBAPAN (%)		INTENSITAS LAMPU (%)	
Label	Domain	Label	Domain	Label	Domain
Dingin Sekali	0 – 20	Kering	0 – 45	Sangat Rendah	0 – 25
Dingin	15 – 35	Agak Kering	35 – 60	Rendah	20 – 45
Hangat	30 – 45	Sedang	50 – 75	Sedang	40 – 65
Agak Panas	40 – 60	Agak Basah	65 – 90	Tinggi	60 – 85
Panas	55 – 100	Basah	80 – 100	Sangat Tinggi	80 – 100

Tabel 5 Basis Pengetahuan Sistem Kendali Inkubator Telur Otomatis

Suhu Kelembapan	Dingin Sekali	Dingin	Hangat	Agak Hangat	Panas
Kering	Sangat Tinggi	Tinggi	Rendah	Sangat Rendah	Sangat Rendah
Agak Keing	Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah	Sangat Rendah
Sedang	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sedang	Sedang	Rendah
Agak Basah	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah
Basah	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah



Referensi

- Haryanto, T. 2012. *Fuzzy Reasoning*/Penalaran *Fuzzy*. Bogor, (Online), (<https://journal.uny.ac.id/>)
- Kusumadewi, Sri, dan Hari Purnomo. 2010. Aplikasi Logika *Fuzzy* untuk Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Graha Ilmu, (Online), (<http://jurnal.upnyk.ac.id/>)
- Pandjaitan, Lanny W. 2007. Dasar-dasar Komputasi Cerdas. Yogyakarta: Penerbit ANDI, (Online), (<https://kin.perpusnas.go.id/>)
- Surbakti, A.B. 2014, Penerapan *Fuzzy* Mamdani Max-Min dalam Pengembangan Sistem Informasi Penentuan Gaji. Eksplora Informatika: vol. 3, no. 2, hal. 161–70, (Online), (<http://ejournal.stikom-bali.ac.id/>)
- Suyanto. 2014. Artificial Intelligence (Revisi Kedua). Bandung: Penerbit Informatika.