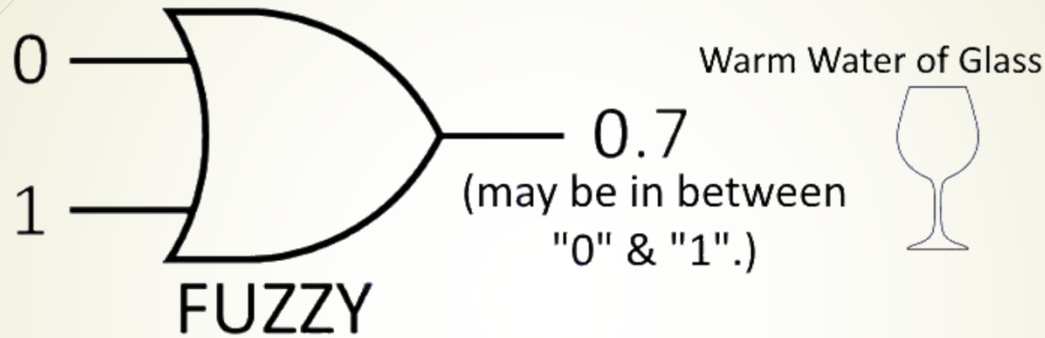
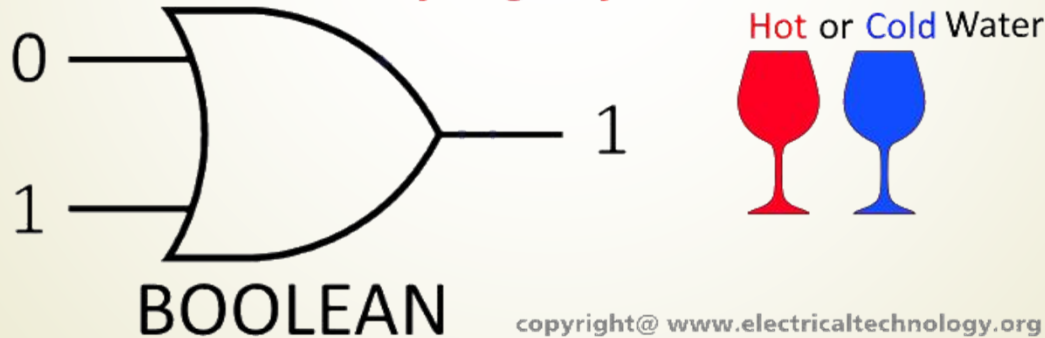


Fuzzy Logic



Fuzzy Logic System



copyright@ www.electricaltechnology.org



What's in ?

- ▶ Basic
- ▶ Himpunan Tegas (Crisp)
- ▶ Himpunan Fuzzy
- ▶ Tegas Vs Fuzzy
- ▶ Fungsi Keanggotaan
- ▶ Karakteristik Fuzzy
- ▶ Variabel Linguistik
- ▶ Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- ▶ Rule IF-THEN Fuzzy
- ▶ Study Kasus
- ▶ Solusi
- ▶ Inferensi
- ▶ Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- ▶ Defuzzification
- ▶ Model Sugeno
- ▶ Model Mamdani


What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

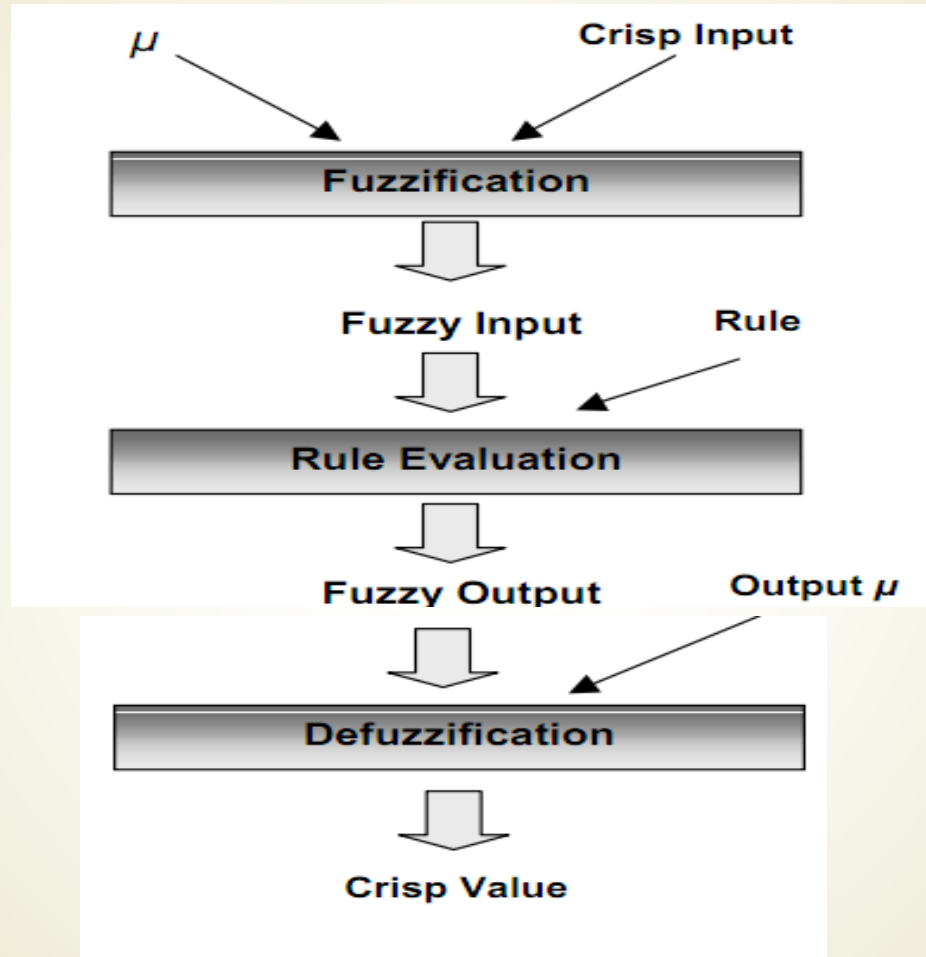
Basic



Suatu cara untuk merepresentasikan dan menangani masalah **ketidakpastian** (keraguan, ketidaktepatan, kurang-lengkapan informasi, dan kebenaran yang bersifat sebagian).



Basic





What's in ?

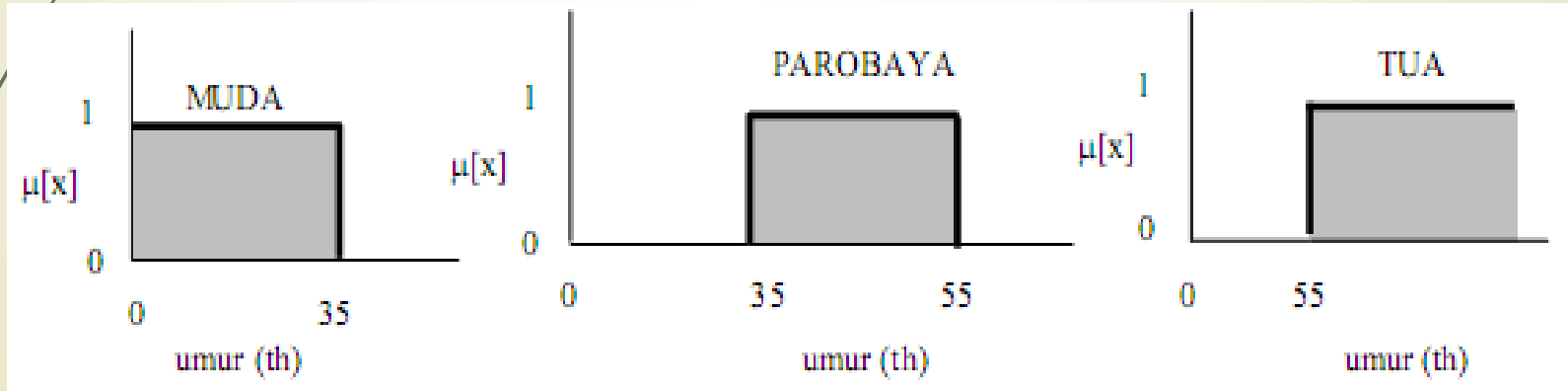
- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Himpunan Tegas (Crisp)

- Nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , memiliki 2 kemungkinan :
 - 1, x anggota A
 - 0, x bukan anggota A
- Contoh :
 - $S = [1,2,3,4,5,6]$; $A = [1,2,3]$; $B = [3,4,5]$
 - Nilai keanggotaan 2 pada $A = \mu_A[2] = 1$
 - Nilai keanggotaan 4 pada $A = \mu_A[4] = 0$
 - Nilai keanggotaan 5 pada $B = \mu_B[5] = 1$

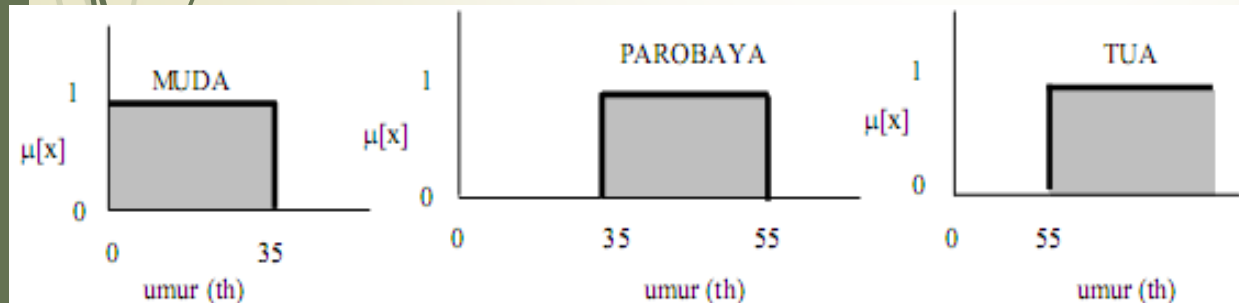
Himpunan Tegas (Crisp)

- Variabel umur dibagi 3 kategori :
 - MUDA, <35 tahun
 - PAROBAYA, 35-55 tahun
 - TUA, >55 tahun
- Grafik nilai keanggotaan :



Himpunan Tegas (Crisp)

- usia 34 tahun maka dikatakan MUDA $\rightarrow \mu_{\text{MUDA}}[34] = 1$
- usia 35 tahun maka dikatakan PAROBAYA $\rightarrow \mu_{\text{PAROBAYA}}[35] = 1$
- usia 34 tahun maka dikatakan TIDAKPAROBAYA $\rightarrow \mu_{\text{PAROBAYA}}[34] = 0$
- usia 35 tahun kurang 1 hari maka dikatakan TIDAKPAROBAYA $\rightarrow \mu_{\text{PAROBAYA}}[35 \text{ th} - 1 \text{ hari}] = 0$
- usia 35 tahun lebih 1 hari maka dikatakan TIDAKMUDA $\rightarrow \mu_{\text{MUDA}}[35 \text{ th} + 1 \text{ hari}] = 0$



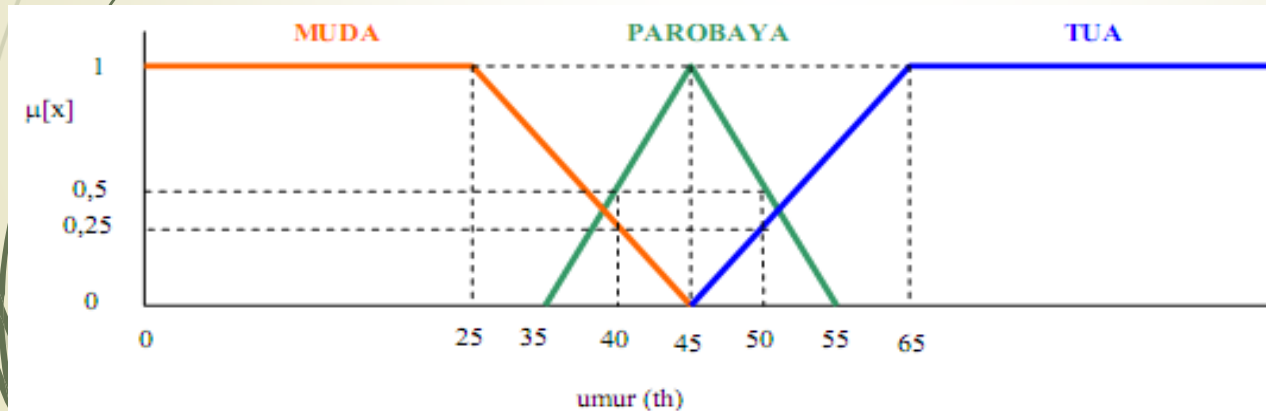
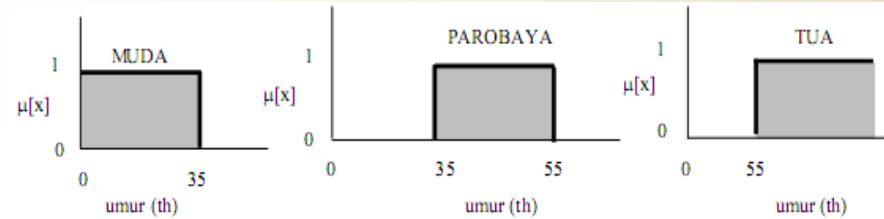
- MUDA, <35 tahun
- PAROBAYA, 35-55 tahun
- TUA, >55 tahun

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

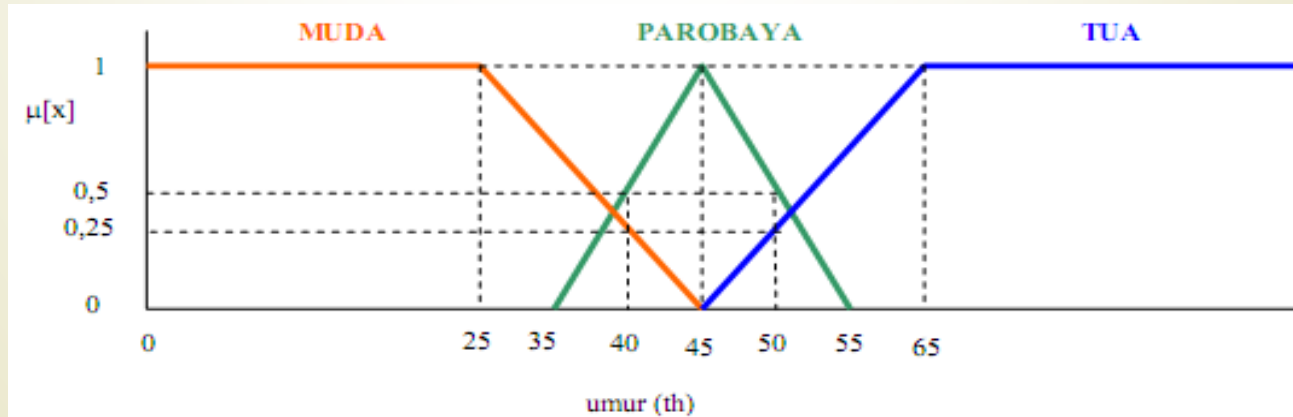
Himpunan Fuzzy

- Misal pada contoh sebelumnya (kategori umur), seseorang bisa masuk 2 himpunan yang berbeda, misal MUDA dan PAROBAYA
- Grafik untuk himpunan fuzzy



Himpunan Fuzzy

- usia 40 tahun termasuk dalam himpunan MUDA dengan $\mu_{\text{MUDA}}[40] = 0,25$ termasuk juga dalam himpunan PAROBAYA dengan $\mu_{\text{PAROBAYA}}[40] = 0,5$
- usia 50 tahun termasuk dalam himpunan TUA dengan $\mu_{\text{TUA}}[50] = 0,25$ termasuk juga dalam himpunan PAROBAYA dengan $\mu_{\text{PAROBAYA}}[50] = 0,5$



What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Tegas Vs Fuzzy

- Himpunan crisp, nilai keanggotaan hanya 0 dan 1.
- Himpunan fuzzy, derajat/nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1 sehingga :
 - Bila x memiliki derajat keanggotaan fuzzy $\mu_A[x] = 0 \rightarrow x$ bukan anggota himpunan A
 - Bila x memiliki derajat keanggotaan fuzzy $\mu_A[x] = 1 \rightarrow x$ anggota penuh himpunan A

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Fungsi Keanggotaan

- suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai/derajat keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1.
- Fungsi Sigmoid
- Fungsi Phi
- Fungsi Segitiga
- Fungsi Trapezium

Fungsi Keanggotaan

Contoh

Suatu fungsi keanggotaan untuk variabel UMUR yang dibagi menjadi 3 kategori atau 3 himpunan fuzzy yaitu MUDA, PAROBAYA, TUA, dimana dapat direpresentasikan sebagai berikut :

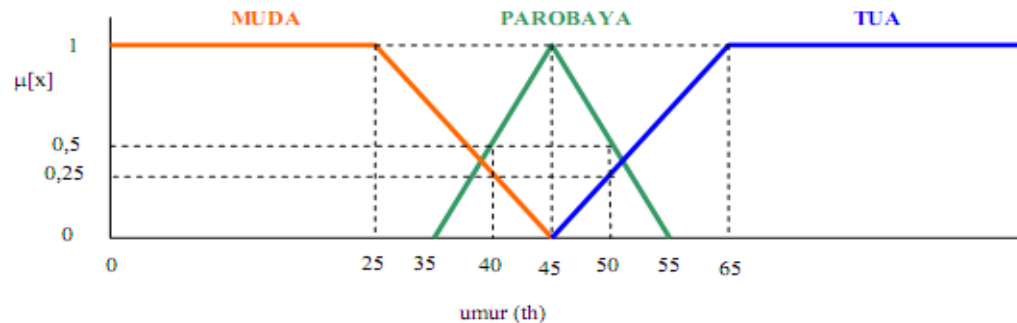
Fungsi Keanggotaan

Contoh

$$\mu_{\text{MUDA}}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 25 \\ \frac{45 - x}{45 - 25}, & 25 < x < 45 \\ 0, & x \geq 45 \end{cases}$$

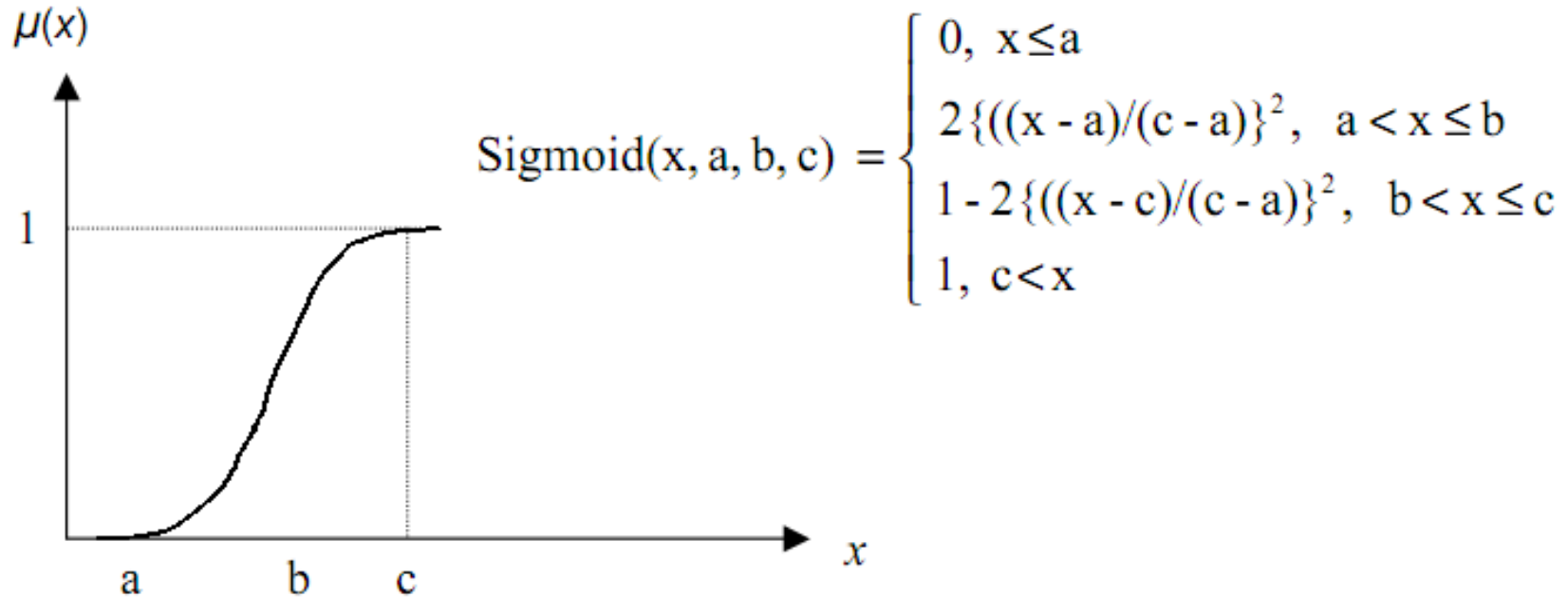
$$\mu_{\text{TUA}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 45 \\ \frac{x - 45}{65 - 45}, & 45 < x < 65 \\ 1, & x \geq 65 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{PAROBAYA}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 35 \text{ atau } x \geq 55 \\ \frac{x - 35}{45 - 35}, & 35 < x < 45 \\ \frac{55 - x}{55 - 45}, & 45 \leq x \leq 55 \end{cases}$$



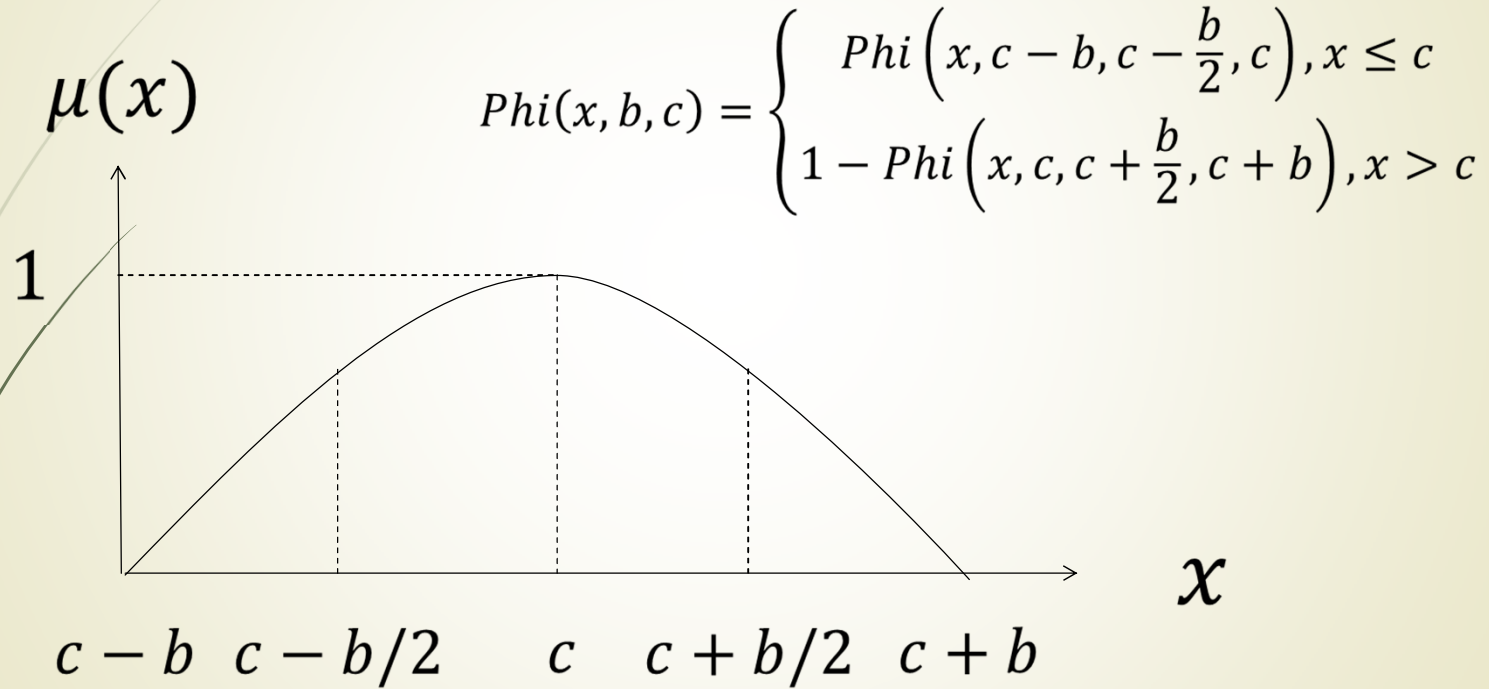
Fungsi Keanggotaan

Fungsi Sigmoid



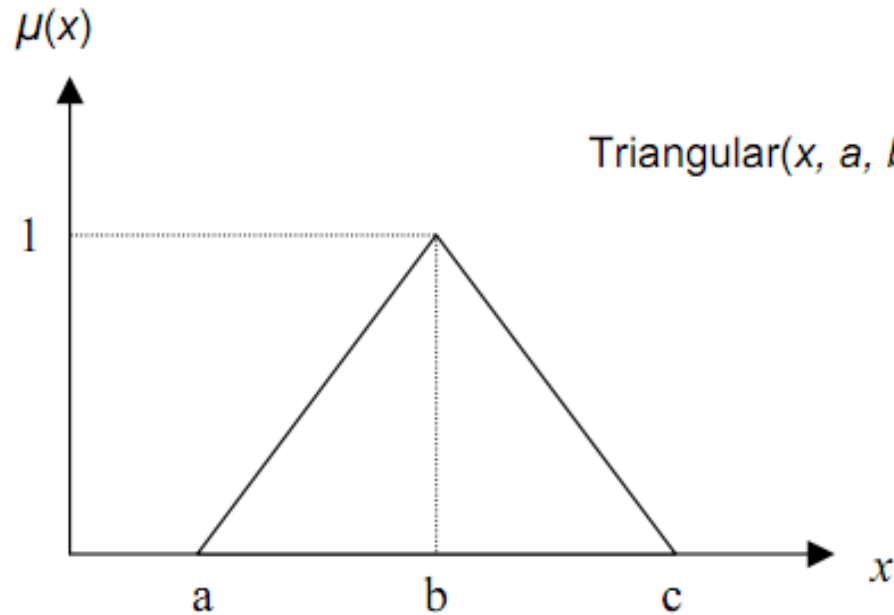
Fungsi Keanggotaan

Fungsi Phi



Fungsi Keanggotaan

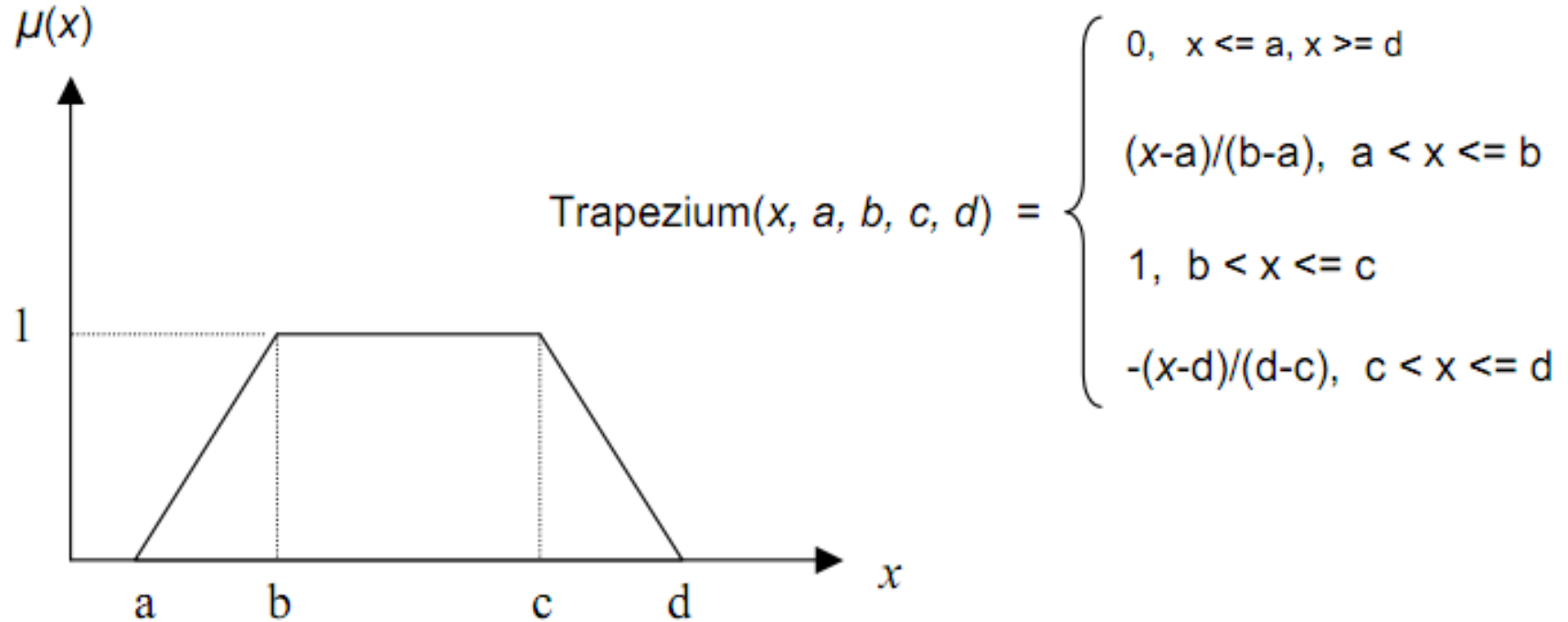
Fungsi Segitiga



$$\text{Triangular}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a, x \geq c \\ (x-a)/(b-a), & a < x \leq b \\ -(x-c)/(c-b), & b < x \leq c \end{cases}$$

Fungsi Keanggotaan

Fungsi Trapezium



What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Karakteristik Fuzzy

- Mesin yang digunakan terus-menerus akan cepat panas
 - kita tidak dapat menentukan dengan tepat batasan terus-menerus, cepat, dan panas
- Jika air pancuran terlalu panas maka naikan aliran air dingin perlahan-lahan
 - kita tidak dapat menentukan dengan tepat batasan terlalu panas, menaikkan, air yang dingin, dan perlahan-lahan

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Variabel Linguistik

- Sebuah variabel yang memiliki nilai berupa kata-kata dalam bahasa alamiah, bukan angka
- Contoh :
 - Variabel linguistik : KECEPATAN
 - Nilai : LAMBAT, SEDANG, CEPAT

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Operasi Dasar Himpunan Fuzzy

- Digunakan untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan fuzzy.
- Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan disebut α predikat.

Operator	Operasi	Fungsi keanggotaan
AND	Intersection	$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min[\mu A(x), \mu B(x)]$
OR	Union	$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max[\mu A(x), \mu B(x)]$
NOT	Complement	$\mu_A^c(x) = 1 - \mu A(x)$

Operasi Dasar Himpunan Fuzzy

Contoh

Operator	Operasi	Fungsi keanggotaan
AND	Intersection	$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min[\mu A(x), \mu B(x)]$
OR	Union	$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max[\mu A(x), \mu B(x)]$
NOT	Complement	$\mu_A^c(x) = 1 - \mu A(x)$

- $U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- $A = \{(1, 0), (2, 0.2), (3, 0.6), (4, 0.9), (5, 1), (6, 0.8)\}$
- $B = \{(1, 0.8), (2, 1), (3, 0.7), (4, 0.4), (5, 0.1), (6, 0)\}$
- Maka α predikat untuk :
- $A^c = \{(1, 1), (2, 0.8), (3, 0.4), (4, 0.1), (5, 0), (6, 0.2)\}$
- $B^c = \{(1, 0.2), (2, 0), (3, 0.3), (4, 0.6), (5, 0.9), (6, 1)\}$
- $A \cap B = \{(1, 0), (2, 0.2), (3, 0.6), (4, 0.4), (5, 0.1), (6, 0)\}$
- $A \cup B = \{(1, 0.8), (2, 1), (3, 0.7), (4, 0.9), (5, 1), (6, 0.8)\}$

Operasi Dasar Himpunan Fuzzy

Contoh

- Misal derajat keanggotaan 27 tahun pada himpunan MUDA adalah 0.6 ($\mu_{\text{MUDA}}[27] = 0.6$)
- Derajat keanggotaan Rp.2 juta pada himpunan penghasilan TINGGI adalah 0.8 ($\mu_{\text{GAJITINGGI}}[2\text{juta}] = 0.8$)
- maka α predikat untuk usia MUDA dan berpenghasilan TINGGI :
 - $\mu_{\text{MUDA}} \cap \mu_{\text{GAJITINGGI}} = \min (\mu_{\text{MUDA}}[27], \mu_{\text{GAJITINGGI}}[2\text{juta}]) = \min (0.6, 0.8) = 0.6$

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Rule IF-THEN Fuzzy

- Aturan IF-THEN fuzzy adalah pernyataan IF-THEN dimana beberapa kata-kata dalam pernyataan tersebut ditentukan oleh fungsi keanggotaan.
- Aturan produksi fuzzy adalah relasi fuzzy antara dua proposisi fuzzy. Aturan tersebut dinyatakan dalam bentuk: IF (proposisi fuzzy 1 \rightarrow anteseden) THEN (proposisi fuzzy 2 \rightarrow konsekuen)

Rule IF-THEN Fuzzy

- Premis dari aturan fuzzy dapat memiliki lebih dari satu bagian (premis1, premis2, ...dst), semua bagian dari premis dihitung secara simultan dan diselesaikan untuk sebuah nilai tunggal dengan menggunakan operator fuzzy dalam himpunan fuzzy.
- IF premis 1 AND premis 2 THEN kesimpulan 1 AND kesimpulan 2
 - Dimana : AND adalah operator fuzzy
 - Premis 1 dan premis 2 berupa variabel masukan
 - Kesimpulan 1 dan kesimpulan 2 berupa variabel keluaran

Rule IF-THEN Fuzzy

Contoh

- IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang
- IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah
 - Dimana :
 - Permintaan, persediaan : variabel masukan
 - Produksi barang : variabel keluaran
 - Turun, naik : kategori himpunan fuzzy dari permintaan
 - Banyak, sedikit : kategori himpunan fuzzy dari persediaan
 - Berkurang, bertambah : kategori himpunan fuzzy dari produksi barang

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Studi Kasus

- Suatu perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC.
- Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari.
- Persediaan barang di gudang terbanyak sampai 600 kemasan/hari, dan terkecil pernah 100 kemasan/hari.
- Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimum 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

Studi Kasus

- Apabila proses produksi perusahaan tersebut menggunakan 4 aturan fuzzy :
 - R1 : IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang
 - R2 : IF permintaan turun AND persediaan sedikit THEN produksi barang berkurang
 - R3 : IF permintaan naik AND persediaan banyak THEN produksi barang bertambah
 - R4 : IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah
- Berapa kemasan makanan jenis ABC yang harus diproduksi, jika jumlah permintaan sebanyak 4000 kemasan dan persediaan di gudang masih 300 kemasan?

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Studi Kasus

Solusi

- FUZZIFIKASI → membuat fungsi keanggotaan
- Ada 3 variabel fuzzy yang akan dimodelkan, yaitu :

Studi Kasus

Solusi

- FUZZIFIKASI → membuat fungsi keanggotaan
- Ada 3 variabel fuzzy yang akan dimodelkan, yaitu :
 - Permintaan
 - Persediaan
 - Produksi Barang

Studi Kasus

Solusi

Permintaan

- Suatu perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC.
- Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari.
- Persediaan barang di gudang terbanyak sampai 600 kemasan/hari, dan terkecil pernah 100 kemasan/hari.
- Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimum 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

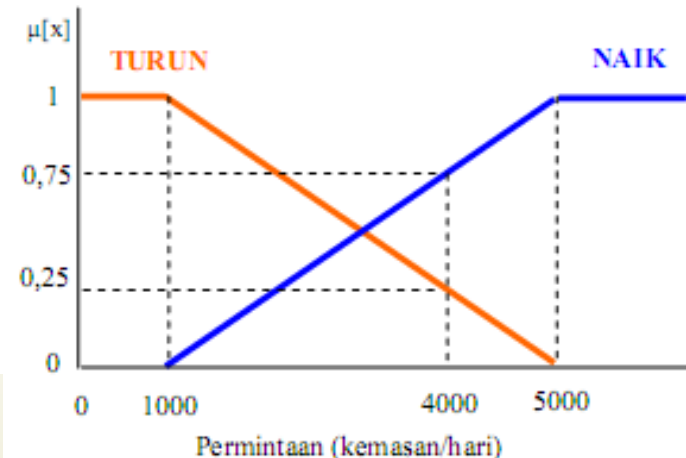
Terdiri atas 2 himpunan fuzzy yaitu NAIK dan TURUN

$$\mu_{\text{permintaanTURUN}}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 1000 \\ \frac{5000 - x}{5000 - 1000}, & 1000 < x < 5000 \\ 0, & x \geq 5000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{permintaanNAIK}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 1000 \\ \frac{x - 1000}{5000 - 1000}, & 1000 < x < 5000 \\ 1, & x \geq 5000 \end{cases}$$

Derajat/nilai keanggotaan :
 $\mu_{\text{permintaanTURUN}}[4000]$
 $= (5000 - 4000) / 4000$
 $= 0,25$

$\mu_{\text{permintaanNAIK}}[4000]$
 $= (4000 - 1000) / 4000$
 $= 0,75$



Studi Kasus

Solusi

Persediaan

- Suatu perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC.
- Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari.
- Persediaan barang di gudang terbanyak sampai 600 kemasan/hari, dan terkecil pernah 100 kemasan/hari.
- Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimum 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

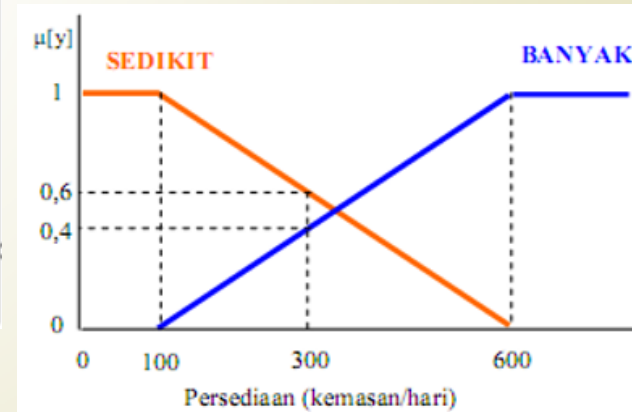
Terdiri atas 2 himpunan fuzzy yaitu SEDIKIT dan BANYAK

$$\mu_{\text{persediaanSEDIKIT}}[y] = \begin{cases} 1, & y \leq 100 \\ \frac{600 - y}{600 - 100}, & 100 < y < 600 \\ 0, & y \geq 600 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{persediaanBANYAK}}[y] = \begin{cases} 0, & y \leq 100 \\ \frac{y - 100}{600 - 100}, & 100 < y < 600 \\ 1, & y \geq 600 \end{cases}$$

Derajat/nilai keanggotaan :
 $\mu_{\text{persediaanSEDIKIT}}[300]$
 $= (600 - 300) / 500$
 $= 0,6$

$\mu_{\text{persediaanBANYAK}}[300]$
 $= (300 - 100) / 500$
 $= 0,4$



Studi Kasus

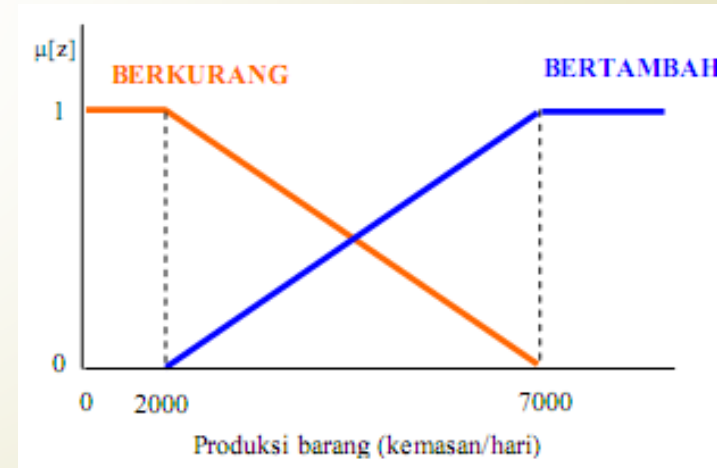
Solusi

Produksi Barang

- Suatu perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC.
- Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari.
- Persediaan barang di gudang terbanyak sampai 600 kemasan/hari, dan terkecil pernah 100 kemasan/hari.
- Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimum 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

Terdiri atas 2 himpunan fuzzy yaitu BERKURANG dan BERTAMBAH

$$\mu_{\text{produksiBERKURANG}}[z] = \begin{cases} 1, & z \leq 2000 \\ \frac{7000 - z}{7000 - 2000}, & 2000 < z < 7000 \\ 0, & z \geq 7000 \end{cases}$$
$$\mu_{\text{produksiBERTAMBAH}}[z] = \begin{cases} 0, & z \leq 2000 \\ \frac{z - 2000}{7000 - 2000}, & 2000 < z < 7000 \\ 1, & z \geq 7000 \end{cases}$$



What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Inferensi

- R1 : IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang
- R2 : IF permintaan turun AND persediaan sedikit THEN produksi barang berkurang
- R3 : IF permintaan naik AND persediaan banyak THEN produksi barang bertambah
- R4 : IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah

Aturan 1

R1 : IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{predikat1}} &= \mu_{\text{permintaanTURUN}} \cap \mu_{\text{persediaanBANYAK}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaanTURUN}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaanBANYAK}}[300]) \\ &= \min(0.25; 0.4) = 0.25\end{aligned}$$

Untuk $\alpha_{\text{predikat1}} = 0.25$ pada himpunan produksi BERKURANG

$$= (7000 - z) / (7000 - 2000) = 0.25$$

$$\Rightarrow z = 5750$$

Inferensi

- R1 : IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang
- R2 : IF permintaan turun AND persediaan sedikit THEN produksi barang berkurang
- R3 : IF permintaan naik AND persediaan banyak THEN produksi barang bertambah
- R4 : IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah

Aturan 2

R1 : IF permintaan turun AND persediaan sedikit THEN produksi barang berkurang

$$\begin{aligned}\alpha \text{ predikat2} &= \mu_{\text{permintaanTURUN}} \cap \mu_{\text{persediaanSEDIKIT}} \\ &= \min (\mu_{\text{permintaanTURUN}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaanSEDIKIT}}[300]) \\ &= \min (0.25; 0.6) = 0,25\end{aligned}$$

Untuk $\alpha \text{ predikat2} = 0,25$ pada himpunan produksiBERKURANG

$$= (7000 - z) / (7000 - 2000) = 0,25$$

$$\Rightarrow z2 = 5750$$

Inferensi

- R1 : IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang
- R2 : IF permintaan turun AND persediaan sedikit THEN produksi barang berkurang
- R3 : IF permintaan naik AND persediaan banyak THEN produksi barang bertambah
- R4 : IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah

Aturan 3

R1 : IF permintaan naik AND persediaan banyak THEN produksi barang bertambah

$$\begin{aligned}\alpha \text{ predikat3} &= \mu_{\text{permintaanNAIK}} \cap \mu_{\text{persediaanBANYAK}} \\ &= \min (\mu_{\text{permintaanNAIK}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaanBANYAK}}[300]) \\ &= \min (0.75; 0.4) = 0,4\end{aligned}$$

Untuk $\alpha \text{ predikat3} = 0,4$ pada himpunan produksi BERTAMBAH

$$\begin{aligned}&= (z - 2000) / (7000 - 2000) = 0,4 \\ &\Rightarrow z3 = 4000\end{aligned}$$

Inferensi

- R1 : IF permintaan turun AND persediaan banyak THEN produksi barang berkurang
- R2 : IF permintaan turun AND persediaan sedikit THEN produksi barang berkurang
- R3 : IF permintaan naik AND persediaan banyak THEN produksi barang bertambah
- R4 : IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah

Aturan 4

R1 : IF permintaan naik AND persediaan sedikit THEN produksi barang bertambah

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{predikat4}} &= \mu_{\text{permintaanNAIK}} \cap \mu_{\text{persediaanSEDIKIT}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaanNAIK}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaanSEDIKIT}}[300]) \\ &= \min(0.75; 0.6) = 0.6\end{aligned}$$

Untuk $\alpha_{\text{predikat4}} = 0.6$ pada himpunan produksi BERTAMBAH

$$\begin{aligned}&= (z - 2000) / (7000 - 2000) = 0.6 \\ \Rightarrow z_4 &= 5000\end{aligned}$$



What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Defuzzification dengan Metode Tsukamoto

Pada metode TSUKAMOTO untuk menentukan output crisp menggunakan *rata-rata berbobot* yaitu :

$$\begin{aligned} z &= \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3 + \alpha_4 z_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} \\ &= \frac{0,25 * 5750 + 0,25 * 5750 + 0,4 * 4000 + 0,6 * 5000}{0,25 + 0,25 + 0,4 + 0,6} \\ &= 7475 / 1,5 = 4983 \end{aligned}$$


Jadi jumlah makanan kaleng yang harus diproduksi 4983 kemasan

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Defuzzification



- ▶ Centroid Method
 - ▶ Height Method
 - ▶ First (or Last) Method
 - ▶ Min-Max Method
 - ▶ Weighted Average
- 

Defuzzification

- **Centroid Method**

- Metode ini disebut juga sebagai *Center of Area* atau *Center of Gravity*.
- Metode ini menghitung nilai *crisp* menggunakan rumus:

$$y = \frac{\int y\mu_R(y)dy}{\int \mu_R(y)dy}$$

- Jika y bernilai diskrit maka:

$$y = \frac{\sum y\mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)}$$

- Dimana y adalah nilai *crisp* dan $\mu_R(y)$ adalah derajat keanggotaan y .

Defuzzification

Height Method

Prinsip keanggotaan maksimum

Metode ini memilih nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

Hanya bisa dipakai untuk fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai *crisp* tunggal dan 0 pada semua nilai *crisp* yang lain.

Defuzzification

First (or Last) of Maxima

Merupakan generalisasi dari *height method*

Untuk kasus dimana fungsi keanggotaan *output* memiliki lebih dari satu nilai maksimum.

Nilai *crisp* yang dihasilkan adalah dari maksimum pertama atau maksimum terakhir (tergantung aplikasi)

Defuzzification

• Mean-Max Method

- Merupakan generalisasi dari *height method* untuk kasus dimana terdapat lebih dari satu nilai *crisp* yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.
- Nilai *crisp* didefinisikan sebagai titik tengah antara nilai *crisp* terkecil dan nilai *crisp* terbesar.

$$y = \frac{m+M}{2}$$

Defuzzification

➤ Weighted Average

- Metode ini mengambil rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan.
- y didefinisikan sebagai:

$$y = \sum \frac{\mu(y)y}{\mu(y)}$$

$$\begin{aligned} z &= \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3 + \alpha_4 z_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} \\ &= \frac{0,25 * 5750 + 0,25 * 5750 + 0,4 * 4000 + 0,6 * 5000}{0,25 + 0,25 + 0,4 + 0,6} \\ &= 7475 / 1,5 = 4983 \end{aligned}$$

- Dimana y adalah nilai *crisp* dan $\mu_R(y)$ adalah derajat keanggotaan y .

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Studi Kasus

- Suatu perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC.
- Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari.
- Persediaan barang di gudang terbanyak sampai 600 kemasan/hari, dan terkecil pernah 100 kemasan/hari.
- Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimum 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

Studi Kasus

- Apabila proses produksi perusahaan tersebut menggunakan 4 aturan fuzzy :

R1 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan - persediaan

R2 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan SEDIKIT maka produksi = permintaan

R3 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan

R4 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan SEDIKIT maka produksi = 1,25 *

Permintaan-Persediaan

- Berapa kemasan makanan jenis ABC yang harus diproduksi, jika jumlah permintaan sebanyak 4000 kemasan dan persediaan di gudang masih 300 kemasan?

Inferensi Model Sugeno

R1 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan - persediaan

R2 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan SEDIKIT maka produksi = permintaan

R3 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan

R4 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan SEDIKIT maka produksi = 1,25 *
Permintaan-Persediaan

Menghitung Produksi Z

R1 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan BANYAK maka produksi = Permintaan -
Persediaan

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{-predikat1}} &= \mu_{\text{permintaan-turun}} \cap \mu_{\text{persediaan-banyak}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaan-turun}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaan-banyak}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,4) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

$$z1 = 4000 - 300 = 3700$$

Inferensi Model Sugeno

R1 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan - persediaan

R2 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan SEDIKIT maka produksi = permintaan

R3 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan

R4 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan SEDIKIT maka produksi = 1,25 *
Permintaan-Persediaan

Menghitung Produksi Z

R2 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan SEDIKIT maka produksi = Permintaan

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{-predikat2}} &= \mu_{\text{permintaan-turun}} \cap \mu_{\text{persediaan-sedikit}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaan-turun}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaan-sedikit}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,6) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

$$z2 = 4000$$

Inferensi Model Sugeno

R1 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan - persediaan

R2 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan SEDIKIT maka produksi = permintaan

R3 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan

R4 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan SEDIKIT maka produksi = 1,25 *
Permintaan-Persediaan

Menghitung Produksi Z

R3 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan BANYAK maka produksi = Permintaan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat3} &= \mu_{\text{permintaan-naik}} \cap \mu_{\text{persediaan-banyak}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaan-naik}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaan-banyak}}[300]) \\ &= \min(0,75; 0,4) \\ &= 0,4\end{aligned}$$

$$z3 = 4000$$

Inferensi Model Sugeno

R1 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan - persediaan

R2 : JIKA permintaan TURUN dan persediaan SEDIKIT maka produksi = permintaan

R3 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan BANYAK maka produksi = permintaan

R4 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan SEDIKIT maka produksi = 1,25 *
Permintaan-Persediaan

Menghitung Produksi Z

R4 : JIKA permintaan NAIK dan persediaan SEDIKIT maka produksi = 1,25 *
Permintaan – Persediaan

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{-predikat4}} &= \mu_{\text{permintaan-naik}} \cap \mu_{\text{persediaan-sedikit}} \\ &= \min(\mu_{\text{permintaan-naik}}[4000] \cap \mu_{\text{persediaan-sedikit}}[300]) \\ &= \min(0,75; 0,6) \\ &= 0,6\end{aligned}$$

$$z4 = 1,25 * 4000 - 300 = 4700$$

Menghitung Produksi Z

Hitung z sebagai berikut :

$$z = \frac{\alpha_{\text{-predikat1}} * z1 + \alpha_{\text{-predikat2}} * z2 + \alpha_{\text{-predikat3}} * z3 + \alpha_{\text{-predikat4}} * z4}{\alpha_{\text{-predikat1}} + \alpha_{\text{-predikat2}} + \alpha_{\text{-predikat3}} + \alpha_{\text{-predikat4}}}$$

$$z = \frac{0,25 * 3700 + 0,25 * 4000 + 0,4 * 4000 + 0,6 * 4700}{0,25 + 0,25 + 0,4 + 0,6}$$

$$z = \frac{6345}{1,5} = 4230$$

Pada metode TSUKAMOTO untuk menentukan output crisp menggunakan *rata-rata berbobot* yaitu :

$$\begin{aligned} z &= \frac{\alpha_1 z1 + \alpha_2 z2 + \alpha_3 z3 + \alpha_4 z4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} \\ &= \frac{0,25 * 5750 + 0,25 * 5750 + 0,4 * 4000 + 0,6 * 5000}{0,25 + 0,25 + 0,4 + 0,6} \\ &= 7475 / 1,5 = 4983 \end{aligned}$$

Jadi jumlah makanan kaleng yang harus diproduksi 4983 kemasan

What's in ?

- Basic
- Himpunan Tegas (Crisp)
- Himpunan Fuzzy
- Tegas Vs Fuzzy
- Fungsi Keanggotaan
- Karakteristik Fuzzy
- Variabel Linguistik
- Operasi Dasar Himpunan Fuzzy
- Rule IF-THEN Fuzzy
- Study Kasus
- Solusi
- Inferensi
- Defuzzification dengan Metode Tsukamoto
- Defuzzification
- Model Sugeno
- Model Mamdani

Model Mamdani

► *Sprinkler control system*

- Misalkan kita ingin membangun sistem untuk mengontrol alat penyiram air. *Input* untuk sistem tersebut: 'Suhu udara (dalam °C)' dan 'Kelembapan tanah (dalam %)'. Sedangkan *output* yang diinginkan adalah durasi penyiraman (dalam satuan menit). Misalkan, nilai *crisp* yang diterima oleh sensor suhu adalah 37 °C dan nilai *crisp* yang diterima sensor kelembapan adalah 12 %. Berapa lama durasi penyiraman yang harus dilakukan?

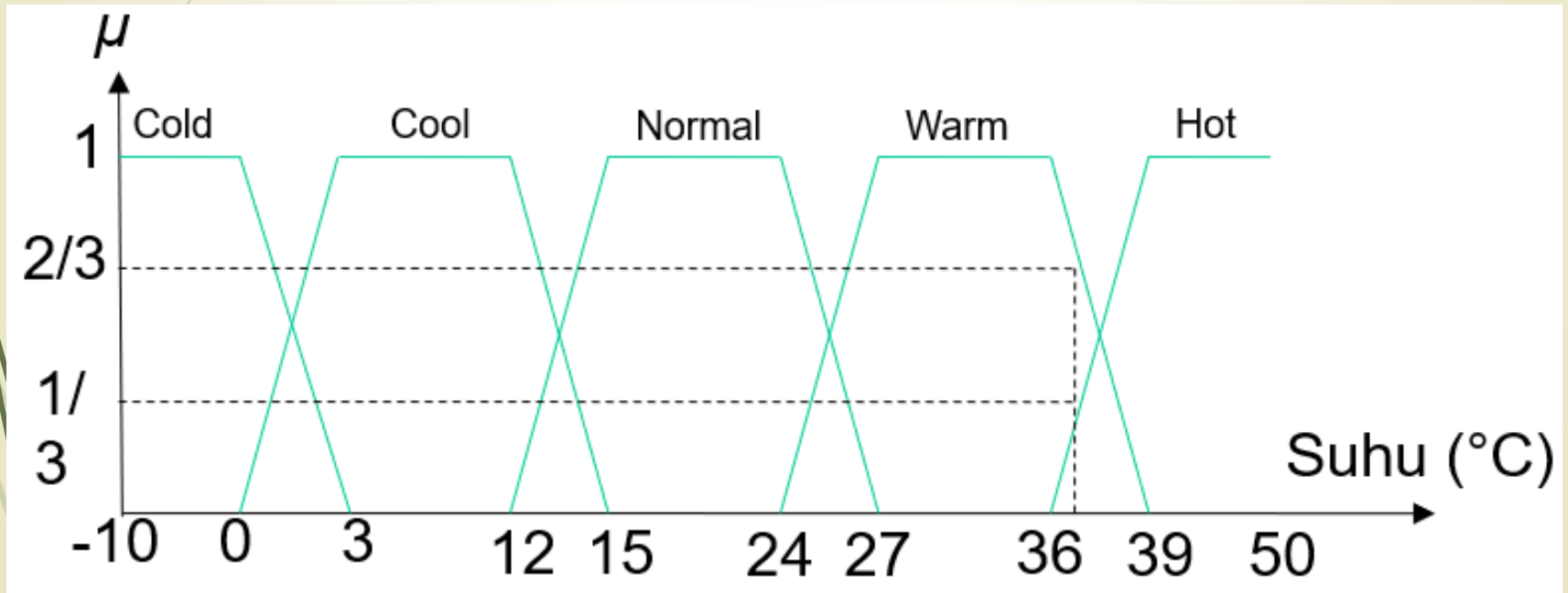
Model Mamdani

► Proses *fuzzification*

- Menggunakan fungsi keanggotaan *Trapezium* dengan 5 variabel linguistik: *Cold*, *Cool*, *Normal*, *Warm*, dan *Hot*.
- Maka *crisp input* suhu 37 °C dikonversi ke nilai *fuzzy* dengan cara:
 - Suhu 37 °C berada di nilai linguistik *Warm* dan *Hot*.
 - Semantik atau derajat keanggotaan untuk *Warm* dihitung menggunakan rumus:
 - $-(x-d)/(d-c)$, $c < x \leq d$, dimana $c = 36$ dan $d = 39$
 - Derajat keanggotaan untuk *Hot* dihitung menggunakan rumus:
 - $-(x-a)/(b-a)$, $a < x < b$, dimana $a = 36$ dan $b = 39$

Model Mamdani

- Fungsi keanggotaan trapesium untuk Suhu Udara



Model Mamdani

- ▶ Menggunakan fungsi keanggotaan *Trapezium* untuk Kelembapan Tanah (Dry, Moist, Wet).
- ▶ Maka, *crisp input* Kelembapan 12% dikonversi menjadi nilai *fuzzy* dengan cara:
 - ▶ Kelembapan 12% berada pada nilai linguistik Dry dan Moist.
 - ▶ Semantik atau derajat keanggotaan Dry dihitung dengan rumus:
 - ▶ $-(x-d)/(d-c)$, $c < x \leq d$, dimana $c = 10$ dan $d = 20$
 - ▶ Derajat keanggotaan untuk Moist dihitung dengan rumus:
 - ▶ $-(x-a)/(b-a)$, $a < x < b$, dimana $a = 10$ dan $b = 20$

Model Mamdani

- Fungsi keanggotaan trapesium untuk Kelembapan Tanah.



Model Mamdani

- Jadi, proses *fuzzification* menghasilkan empat fuzzy input:
 - Suhu Udara = Warm ($2/3$) dan Hot ($1/3$).
 - Kelembapan Tanah = Dry ($4/5$) dan Moist ($1/5$).

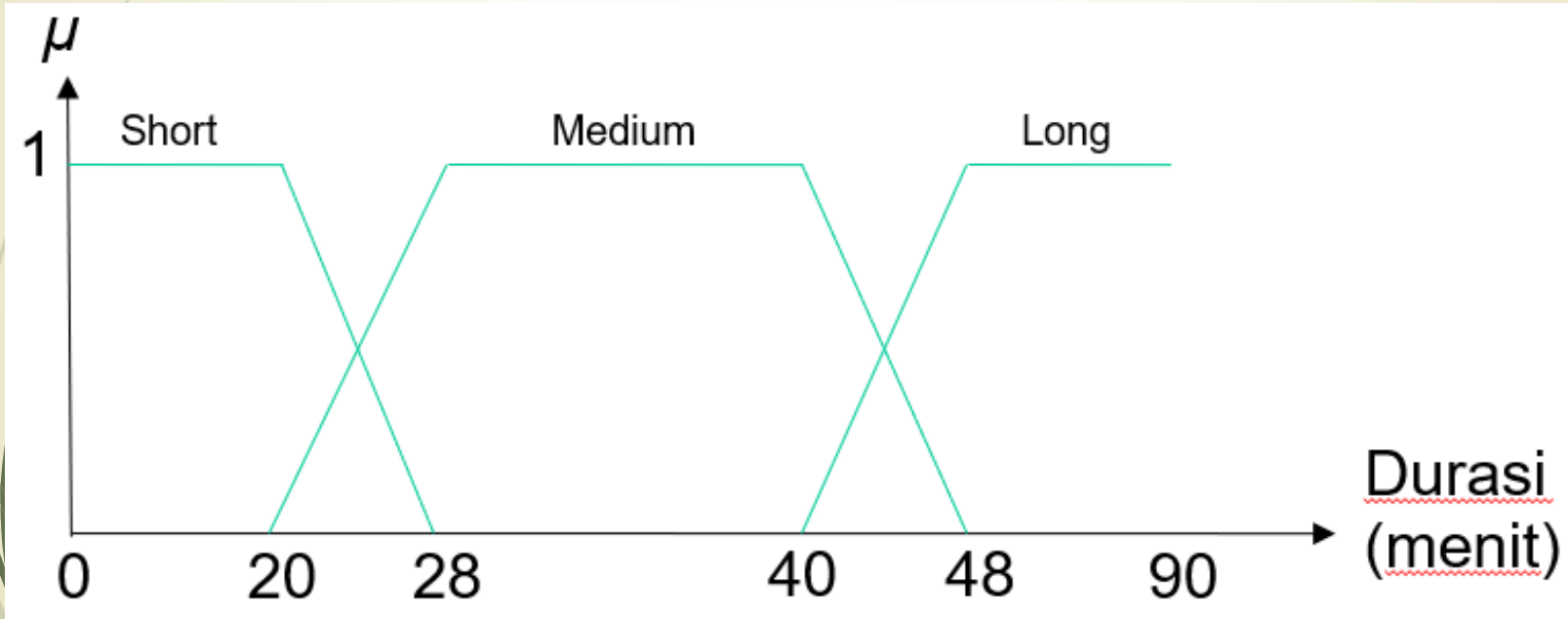
Model Mamdani

➤ Proses *inferensi*

- Terdapat berbagai macam cara dalam menentukan aturan *fuzzy*.
- Misalkan, untuk Durasi Penyiraman kita menggunakan fungsi keanggotaan Trapezium dengan tiga nilai linguistik:
 - *Short*
 - *Medium*
 - *Long*

Model Mamdani

- Fungsi keanggotaan trapesium untuk Durasi Penyiraman.



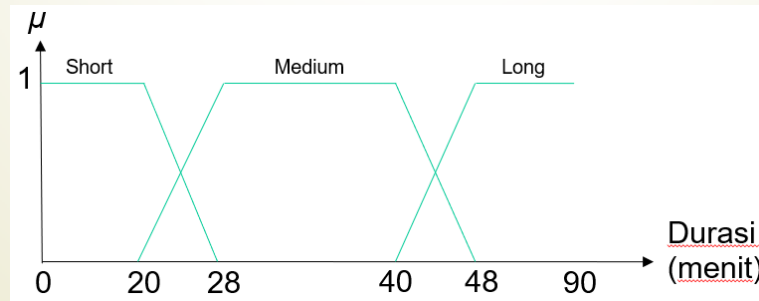
Model Mamdani

- Aturan fuzzy untuk masalah *Sprinkler control system*.

Antecedent 1 (Suhu Udara)

Antecedent 2
(Kelembapan)

	Cold	Cool	Normal	Warm	Hot
Dry	Long	Long	Long	Long	Long
Moist	Long	Medium	Medium	Medium	Medium
Wet	Short	Short	Short	Short	Short



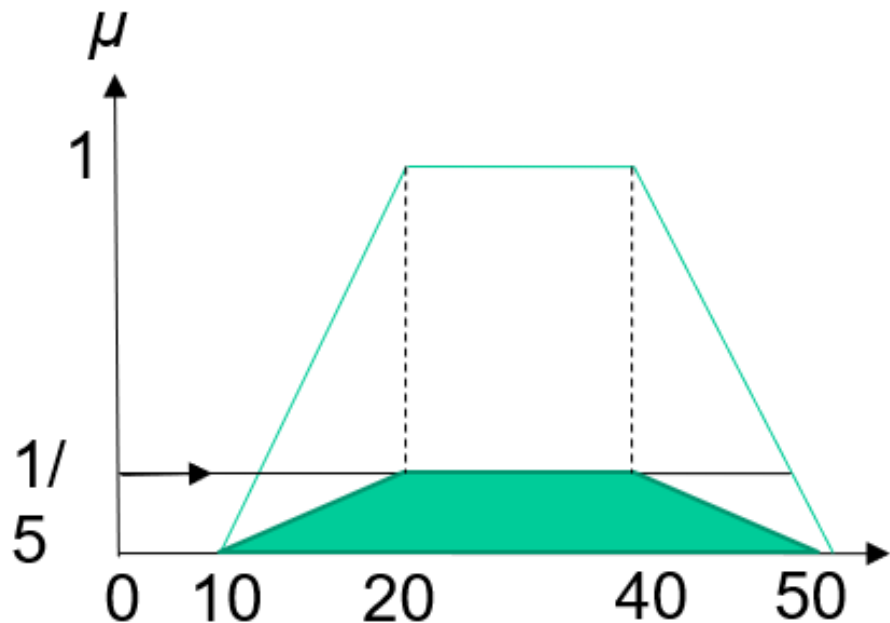
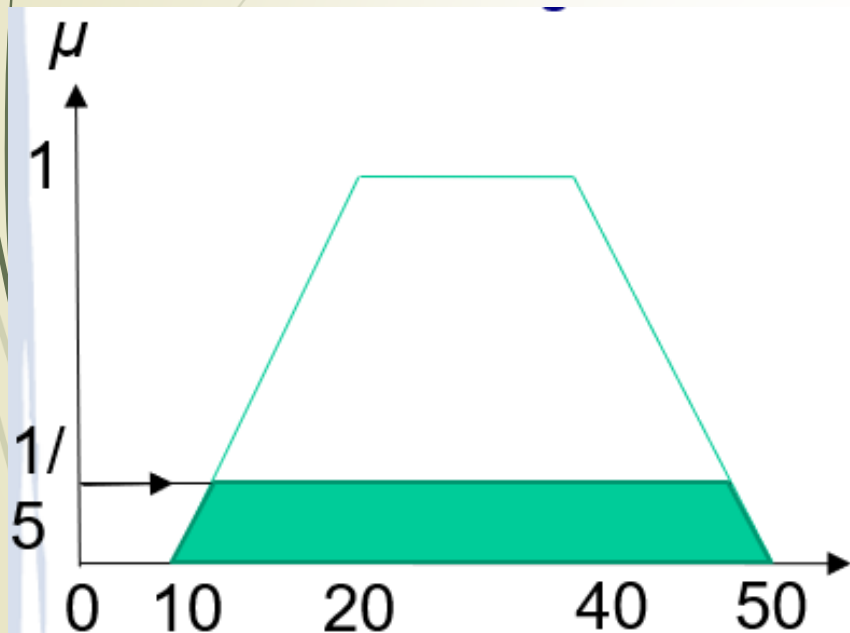
Model Mamdani

Antecedent 1 (Suhu Udara)						
Antecedent 2 (Kelembapan)		Cold	Cool	Normal	Warm	Hot
	Dry	Long	Long	Long	Long	Long
	Moist	Long	Medium	Medium	Medium	Medium
	Wet	Short	Short	Short	Short	Short

- ▶ Dengan definisi aturan *fuzzy* pada tabel di atas, kita mempunyai 3 x 5 aturan *fuzzy*, yaitu:
 - ▶ IF *Suhu* = *Cold* AND *Kelembapan* = *Dry* THEN *Durasi* = *Long*
 - ▶ IF *Suhu* = *Hot* AND *Kelembapan* = *Wet* THEN *Durasi* = *Short*

Model Mamdani

- Proses *inferensi* menggunakan Model Mamdani
 - Kita dapat menggunakan 2 cara inferensi: *Clipping* atau *Scaling*.



Model Mamdani

Dari 4 data *fuzzy input*, maka kita mendapatkan empat aturan (dari 15 aturan):

IF Suhu is Warm **AND** Kelembapan is Dry **THEN** Durasi is Long

IF Suhu is Warm **AND** Kelembapan is Moist **THEN** Durasi is Medium

IF Suhu is Hot **AND** Kelembapan is Dry **THEN** Durasi is Long

IF Suhu is Hot **AND** Kelembapan is Moist **THEN** Durasi is Medium

Model Mamdani

Misalkan, kita menggunakan inferensi *Clipping*:

Gunakan aturan Conjunction (^) dengan memilih derajat keanggotaan **minimum**. Sehingga diperoleh:

IF Suhu is Warm (2/3) **AND** Kelembapan is Dry (4/5) **THEN** Durasi is Long (2/3)

IF Suhu is Warm (2/3) **AND** Kelembapan is Moist (1/5) **THEN** Durasi is Medium (1/5)

IF Suhu is Hot (1/3) **AND** Kelembapan is Dry (4/5) **THEN** Durasi is Long (1/3)

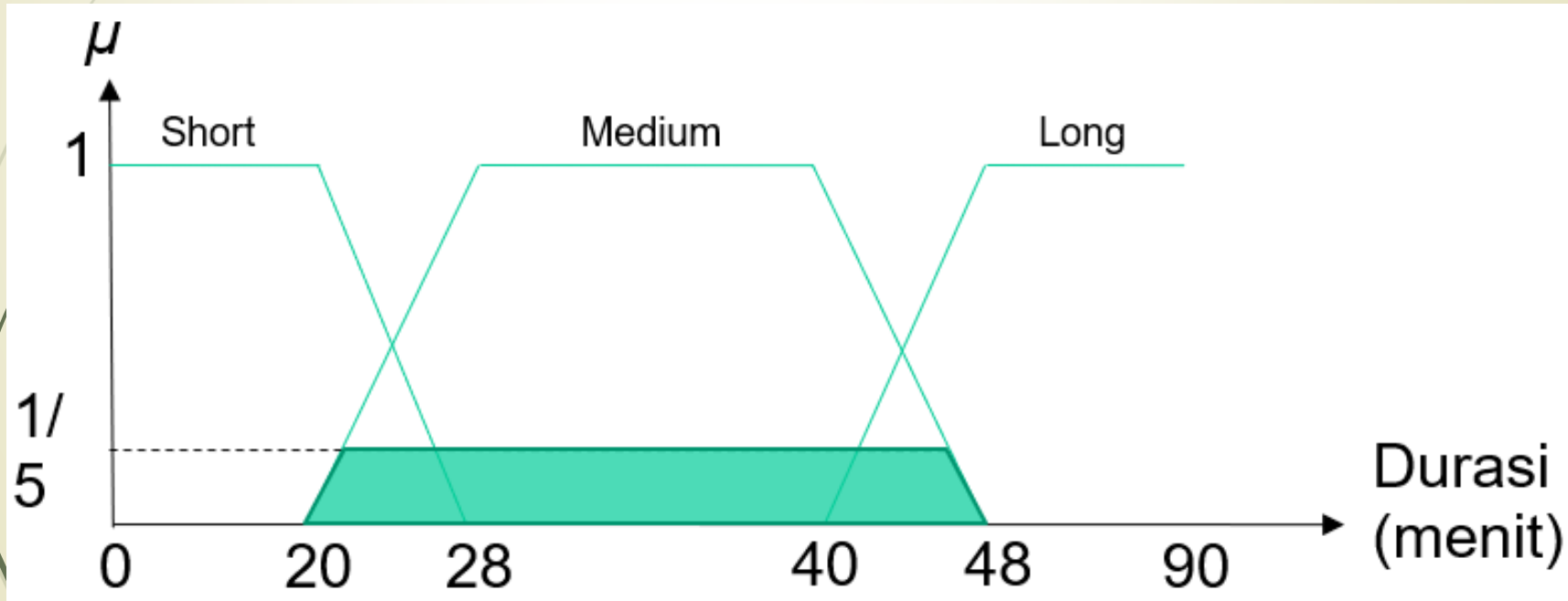
IF Suhu is Hot (1/3) **AND** Kelembapan is Moist (1/5) **THEN** Durasi is Medium (1/5)

Model Mamdani

- ▶ Gunakan aturan disjunction (\vee) dengan memilih derajat keanggotaan **maksimum** dari nilai-nilai linguistik Durasi:
 - ▶ 'Durasi is Long ($2/3$) \vee Durasi is Long ($1/3$) = Durasi is Long ($2/3$)'
 - ▶ 'Durasi is Medium ($1/5$) \vee Durasi is Medium ($1/5$) = Durasi is Medium ($1/5$)'
 - ▶ Sehingga kita memperoleh dua pernyataan: **Durasi is Long ($2/3$)** dan **Durasi is Medium ($1/5$)**.

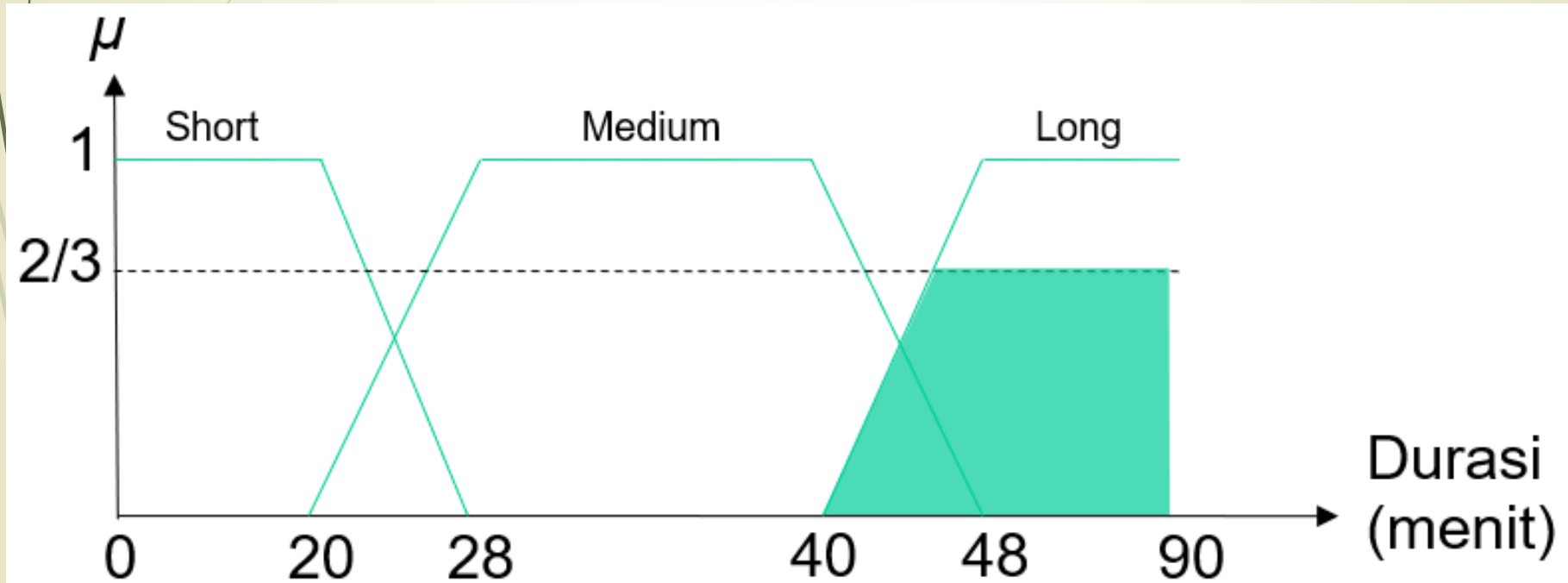
Model Mamdani

- Fuzzy set dari Durasi is Medium ditunjukkan oleh area abu-abu.



Model Mamdani

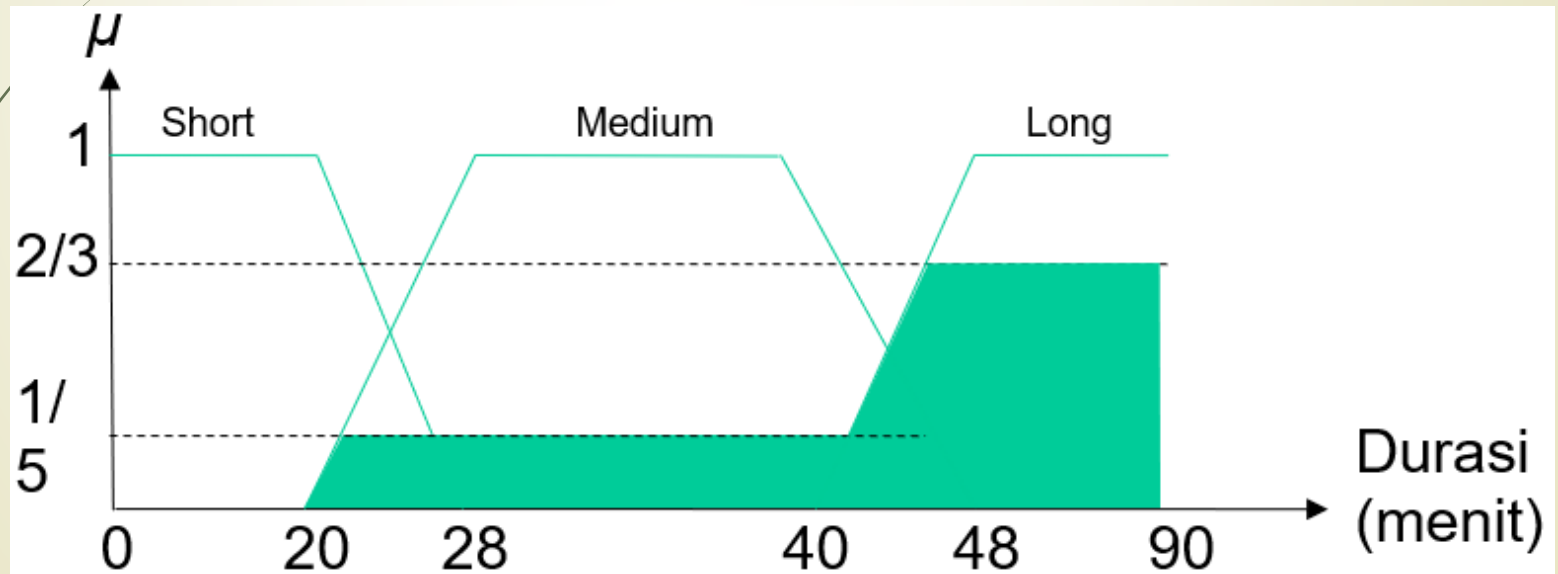
- Fuzzy set dari Durasi is Long ditunjukkan oleh area abu-abu.



Model Mamdani

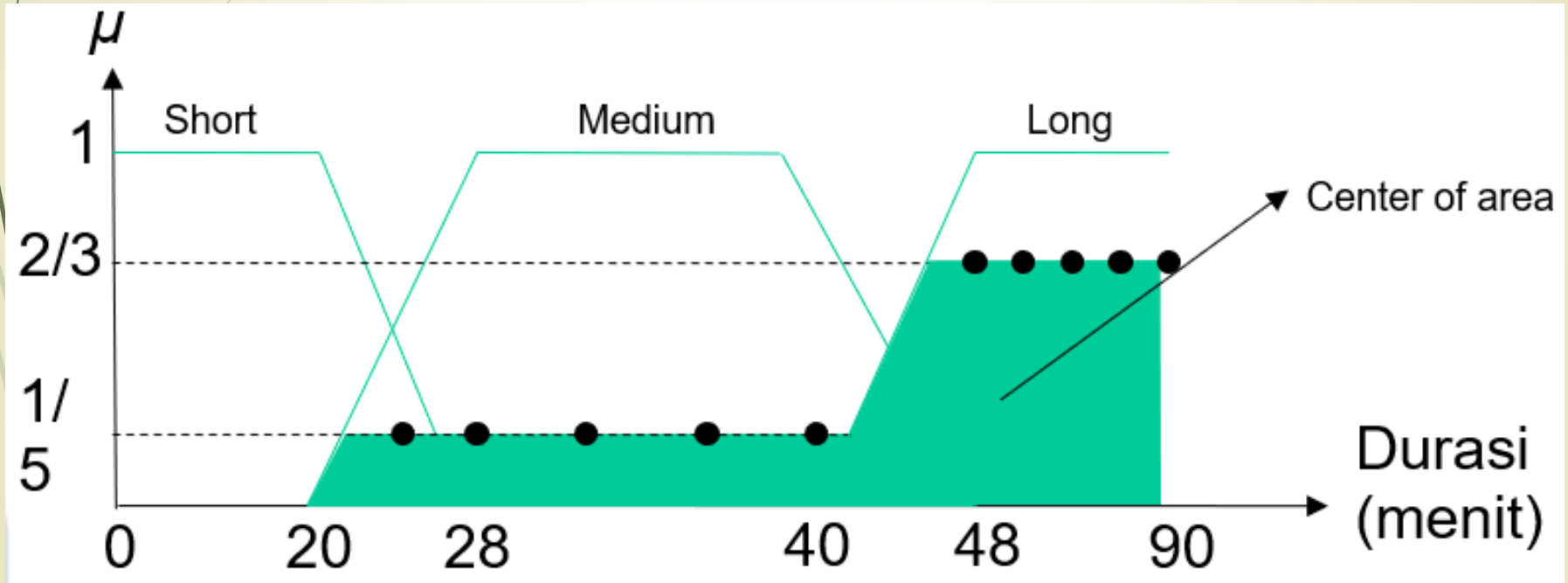
➤ Proses *defuzzification*

- Melakukan proses **composition**, yaitu agregasi hasil *Clipping* dari semua aturan fuzzy sehingga kita dapatkan satu *fuzzy set* tunggal.

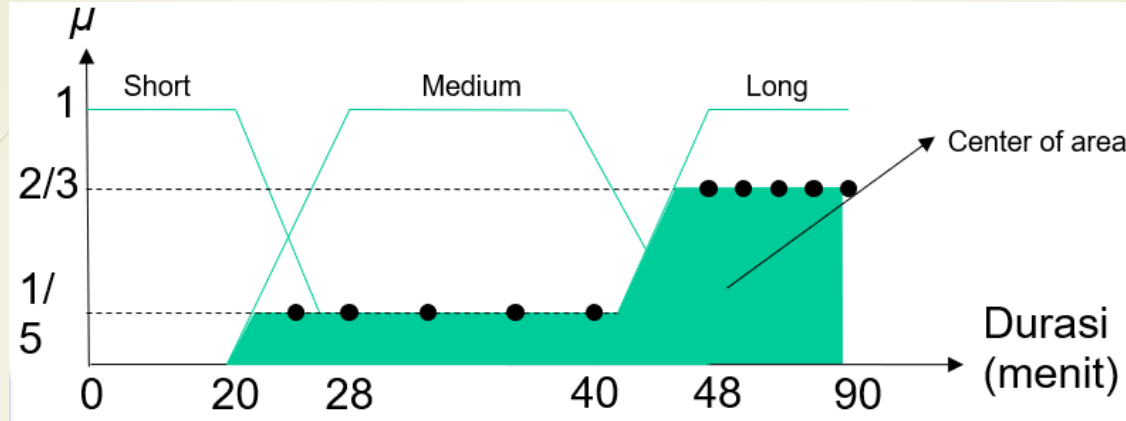


Model Mamdani

- Menggunakan *Centroid method* untuk proses **defuzzification**.



Model Mamdani



- Misalkan kita menentukan titik sembarang pada area abu-abu tersebut: 24, 28, 32, 36, 40, 48, 60, 70, 80, dan 90.
- Dengan menggunakan persamaan *Centroid Method*:

$$y = \frac{(24 + 28 + 32 + 36 + 40)1/5 + (48 + 60 + 70 + 80 + 90)2/3}{1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/5 + 2/3 + 2/3 + 2/3 + 2/3 + 2/3}$$

$$y = \frac{32 + 232}{4,33} = \frac{310,4}{4,33} = 60,97$$

Model Mamdani

- Jadi dengan menggunakan Model Mamdani, untuk suhu udara 37°C dan Kelembapan Tanah 12%, maka *sprinkle* secara otomatis akan menyiramkan air selama **60,97 menit**.



What's in Next Chapter ?



JST



Contact

Sendi Novianto

Bidang minat utama : game technology, Artificial Intelligence, Image Processing, Pattern Recognition, IOT

Bidang minat sekunder : Computer Graphics, Operating System, Database, Web Programming

- Email : sendi.novianto@dsn.dinus.ac.id
- No. HP / Whatsapp : 0813 9010 5422
- Tempat Ruang H.2.4



Thank You!