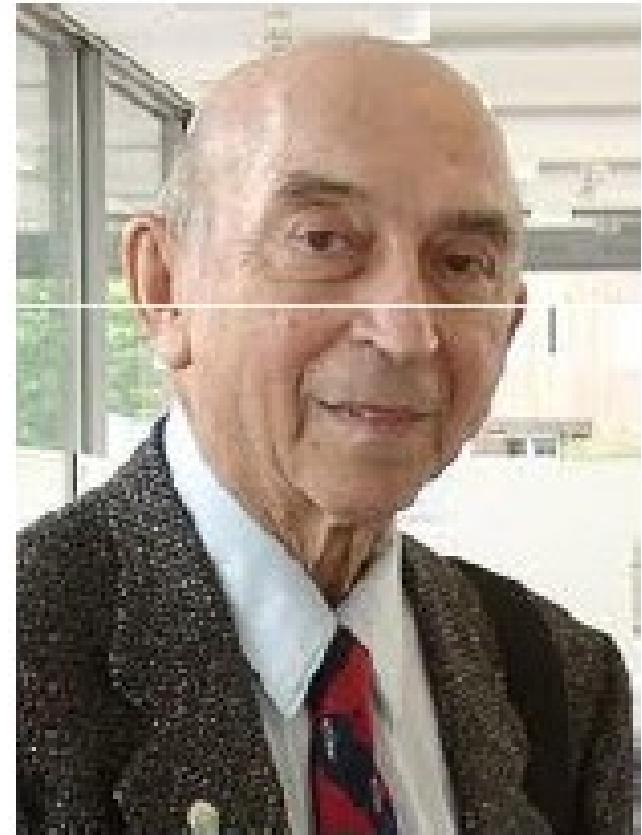


LOGIKA FUZZY



Pendahuluan

- Logika fuzzy pertama kali dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh melalui tulisannya pada tahun 1965 tentang teori himpunan fuzzy.
- Lotfi Asker Zadeh adalah seorang ilmuwan Amerika Serikat berkebangsaan Iran dari Universitas California di Barkeley,





- Meskipun logika fuzzy dikembangkan di Amerika, namun ia lebih populer dan banyak diaplikasikan secara luas oleh praktisi Jepang dengan mengadaptasikannya ke bidang kendali (control).
- Mengapa logika fuzzy yang ditemukan di Amerika malah lebih banyak ditemukan aplikasinya di negara Jepang?
- Salah satu penjelasannya: kultur orang Barat yang cenderung memandang suatu persoalan sebagai hitam-putih, ya-tidak, bersalah-tidak bersalah, sukses-gagal, atau yang setara dengan dunia logika biner Aristoteles,
- sedangkan kultur orang Timur lebih dapat menerima dunia “abu-abu” atau fuzzy.

Ilustrasi

Suatu waktu dibuka penerimaan calon prajurit dimana salah satu syarat administrative adalah tinggi badan minimal 165 cm dan usia maksimal 22 tahun pada tanggal 3 Januari 2020

- Ali berusia 20 tahun tetapi tinggi badan 164.50 cm
- Badu lahir tgl 1 Agustus 1997 dan tinggi badan 170 cm
- Carlie berusia 19 tahun dan tinggi badan 168 cm

Siapa di antara mereka yang memenuhi syarat administrative?

Adakah toleransi terhadap kasus seperti ini?

Logika apa yang digunakan?

Ilustrasi

Suatu ruangan kapasitas 50 orang selalu dinyalakan AC dari pukul 7.30 hingga pukul 15.00 tiap hari kerja. Adapun suhu ruangan diatur pada suhu 20 derajat, baik saat ruangan kosong, saat ruangan berisi 4 orang, saat ruangan berisi 10 orang, atau bahkan isi 50 orang. Padahal saat ruangan kosong tetap dikondisikan pada suhu 20 derajat.

- Suhu ruangan tidak diatur secara otomatis?
- Dalam keadaan ruangan penuh sesak dan ruang kosong, suhu ruang tetap 20 derajat, adilkah?



- Saat ini banyak dijual produk elektronik buatan Jepang yang menerapkan prinsip logika fuzzy, seperti mesin cuci, AC, dan lain-lain.
- Tahun 1990, mesin cuci otomatis di Jepang menggunakan logika fuzzy.
 - ✓ Menggunakan sensor untuk mendeteksi kotoran pada pakaian.
 - ✓ Inputnya: tingkat kekotoran, jenis kotoran dan banyaknya cucian.
 - ✓ Outputnya: menentukan putaran putaran yang tepat secara otomatis.
- Fuzzy logic sudah diterapkan pada banyak bidang, mulai dari teori kendali hingga inteligensia buatan.



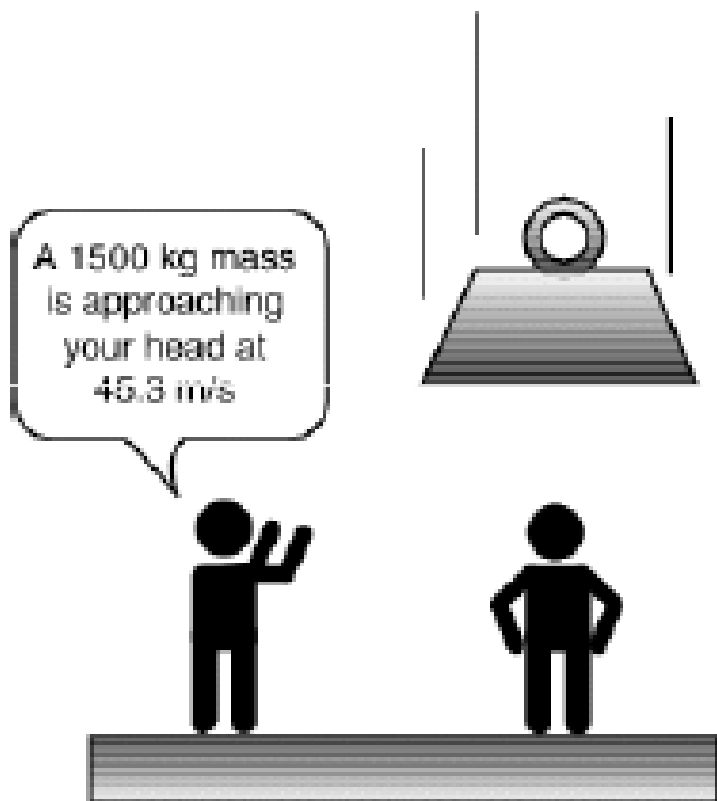
- Dunia kedokteran dan biologi : Diagnosis penyakit pasien, penelitian kanker, dsb.
- Manajemen pengambilan keputusan
 - ✓ Manajemen basis data untuk query data
 - ✓ Tata letak pabrik yang maksimal
 - ✓ Penentuan jumlah produksi berdasarkan jumlah stok dan permintaan.
- Klasifikasi dan pencocokan pola.
- Mengukur kualitas air, peramalan cuaca, dsb.



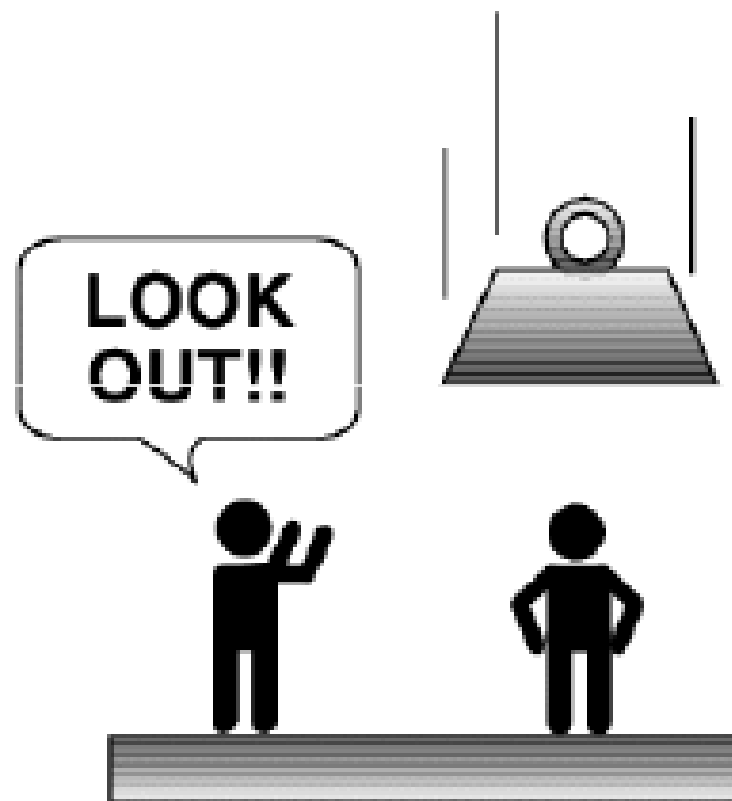
- Logika fuzzy umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian (uncertainty), ketidaktepatan (imprecise), noisy, dan sebagainya.
- Logika fuzzy menjembatani bahasa mesin yang presisi dengan bahasa manusia yang menekankan pada makna atau arti (significance).
- Logika fuzzy dikembangkan berdasarkan bahasa manusia (bahasa alami)



Precision and Significance in the Real World



Precision



Significance



- Profesor Zadeh beralasan bahwa orang tidak memerlukan ketepatan, numerik masukan informasi, namun mereka memerlukan suatu kontrol yang sangat adaptif. Jika pengendali umpan balik bisa diprogram untuk menerima noise, masukan yang tidak tepat, mereka akan jauh lebih efektif dan mungkin lebih mudah untuk diterapkan.
- As complexity rises, precise statements lose meaningful and meaningful statements lose precision (Lutfi A. Zadeh)



Contoh-contoh masalah yang mengandung ketidakpastian:

1. Seseorang dikatakan “tinggi” jika tinggi badannya lebih dari 1,7 meter. Bagaimana dengan orang yang mempunyai tinggi badan 1,6999 meter atau 1,65 meter, apakah termasuk kategori orang tinggi?

Menurut persepsi manusia, orang yang mempunyai tinggi badan sekitar 1,7 meter dikatakan “kurang lebih tinggi” atau “agak tinggi”.

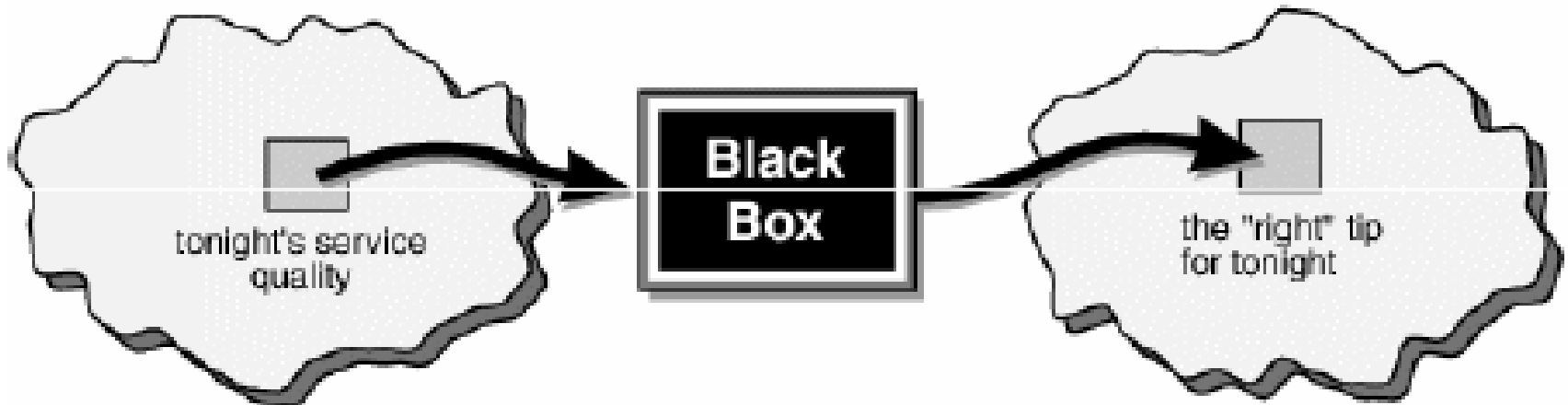


- Contoh 2: Kecepatan “pelan” didefinisikan di bawah 20 km/jam .
- Bagaimana dengan kecepatan $20,001 \text{ km/jam}$, apakah masih dapat dikatakan pelan?
- Manusia mungkin mengatakan bahwa kecepatan $20,001 \text{ km/jam}$ itu “agak pelan”.
- Ketidapastian dalam kasus —kasus ini disebabkan oleh kaburnya pengertian “agak”, “kurang lebih”, “sedikit”, dan sebagainya .



Input Space
(all possible service
quality ratings)

Output Space
(all possible tips)



An input-output map for the tipping problem:
“Given the quality of service, how much should I tip?”



Konsep Dasar

- Logika fuzzy bukanlah *logika yang tidak jelas (kabur)*,
 - ✓ tetapi logika yang digunakan untuk *menggambarkan ketidakjelasan*.
- Logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy
 - ✓ Himpunan yang mengkalibrasi ketidakjelasan.
 - ✓ Logika fuzzy didasarkan pada gagasan bahwa segala sesuatu mempunyai nilai derajat.
- Logika Fuzzy merupakan peningkatan dari logika Boolean yang mengenalkan konsep *kebenaran sebagian*.
 1. Logika klasik (***Crisp Logic***) menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah binary (0 atau 1, hitam atau putih, *ya atau tidak*) Tidak ada nilai diantaranya
 2. Logika fuzzy menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat *kebenaran* Ada nilai diantara hitam dan putih (abu-abu).



Alasan Penggunaan Fuzzy

1. Mudah dimengerti, konsep matematisnya sederhana
2. Sangat Fleksibel
3. Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat (kabur)
4. Mampu memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang sangat kompleks.
5. Dapat menerapkan pengalaman pakar secara langsung tanpa proses pelatihan.
6. Dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Didasarkan pada bahasa alami



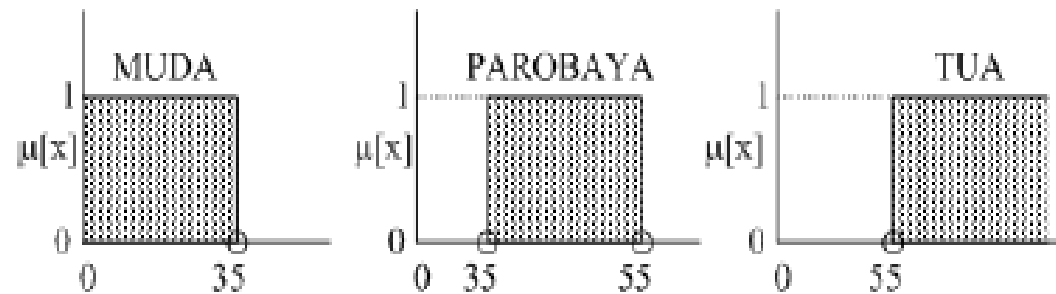
Himpunan Crisp (Tegas)

- Nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , ditulis $\mu_A[x]$, memiliki 2 kemungkinan:
 - ✓ Satu (1): berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan
 - ✓ Nol (0): berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.
- Contoh: $S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ adalah semesta pembicaraan
 $A = \{1, 2, 3\}$ dan $B = \{3, 4, 5\}$
- Bisa dikatakan bahwa:
 - Nilai keanggotaan 2 pada himpunan A , $\mu_A[2]=1$, karena $2 \in A$
 - Nilai keanggotaan 3 pada himpunan A , $\mu_A[3]=1$, karena $3 \in A$
 - Nilai keanggotaan 4 pada himpunan A , $\mu_A[4]=0$, karena $4 \notin A$
 - Nilai keanggotaan 2 pada himpunan B , $\mu_B[2]=0$, karena $2 \notin B$
 - Nilai keanggotaan 3 pada himpunan B , $\mu_B[3]=1$, karena $3 \in B$



- Misal variable umur dibagi menjadi 3 katagori :

- MUDA umur < 35 tahun
- PAROBAYA $35 \leq \text{umur} \leq 55$ tahun
- TUA umur > 55 tahun



- Apabila seseorang berusia 34 tahun, maka ia dikatakan MUDA, $\mu_{\text{MUDA}}[34]=1$
- Apabila seseorang berusia 35 tahun, maka ia dikatakan TIDAK MUDA, $\mu_{\text{MUDA}}[35]=0$
- Apabila seseorang berusia 35 tahun, maka ia dikatakan PAROBAYA, $\mu_{\text{PAROBAYA}}[35]=1$
- Apabila seseorang berusia 35 tahun kurang 1 hari, maka ia dikatakan TIDAK PAROBAYA, $\mu_{\text{PAROBAYA}}[35-1]=0$
- Apabila seseorang berusia 55 tahun, maka ia dikatakan TIDAK TUA, $\mu_{\text{TUA}}[55]=0$
- Apabila seseorang berusia 55 tahun lebih $\frac{1}{2}$ hari, maka ia dikatakan TUA, $\mu_{\text{TUA}}[55+0.5]=1$
- Tidak adil bukan ?



- Contoh Himpunan Tegas dapat dilihat pada sebagai berikut :
Misalkan, $x = \{5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$ adalah crisp set Usia dalam satuan tahun.
Balita, Dewasa, Muda, dan Tua adalah empat fuzzy set yang merupakan subset dari x

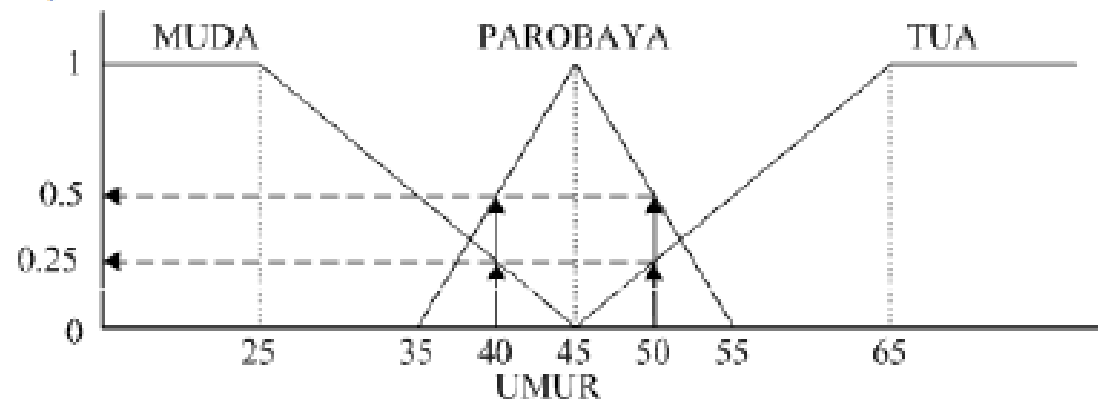
x	Balita	Dewasa	Muda	Tua
5	0	0	1	0
10	0	0	1	0
20	0	0.8	0.8	0.1
30	0	1	0.5	0.2
40	0	1	0.2	0.4
50	0	1	0.1	0.6
60	0	1	0	0.8
70	0	1	0	1
80	0	1	0	1

- Pada tabel di atas, terdapat 4 buah fuzzy set dengan anggota dan derajat keanggotaannya sebagai berikut :
 - Balita = $\{\}$.
 - Dewasa = $\{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, di mana derajat keanggotaannya dinyatakan oleh $u\text{-Dewasa} = \{0.8, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$.
 - Muda = $\{5, 10, 20, 30, 40, 50\}$, di mana derajat keanggotaannya dinyatakan oleh $u\text{-muda} = \{1, 1, 0.8, 0.5, 0.2, 0.1\}$
 - Tua = $\{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, di mana derajat keanggotaannya dinyatakan oleh $u\text{-Tua} = \{0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1\}$



Himpunan Fuzzy

- Digunakan untuk mengantisipasi dimana seseorang dapat masuk dalam 2 himpunan yang berbeda.
 - Misal, MUDA dan PAROBAYA, atau PAROBAYA dan TUA.



- Contoh (dari gambar):
 - Seseorang yang berusia 40 tahun, masuk dalam himpunan MUDA dengan $\mu_{MUDA}[40] = 0.25$; Tapi juga masuk dalam himpunan PAROBAYA dengan $\mu_{PAROBAYA}[40] = 0.5$
 - Seseorang yang berusia 50 tahun, masuk dalam himpunan PAROBAYA dengan $\mu_{PAROBAYA}[50] = 0.5$; Tapi juga masuk dalam himpunan TUA dengan $\mu_{TUA}[50] = 0.25$
- Jangkauan nilai keanggotaan setiap item data dalam rentang 0 dan 1:
 - Jika suatu item x mempunyai *nilai keanggotaan fuzzy* $\mu_A[x] = 0$ maka item tersebut *tidak menjadi anggota* himpunan A
 - Jika suatu item x mempunyai *nilai keanggotaan fuzzy* $\mu_A[x] = 1$ maka item tersebut *menjadi anggota penuh* himpunan A



- Variabel Fuzzy

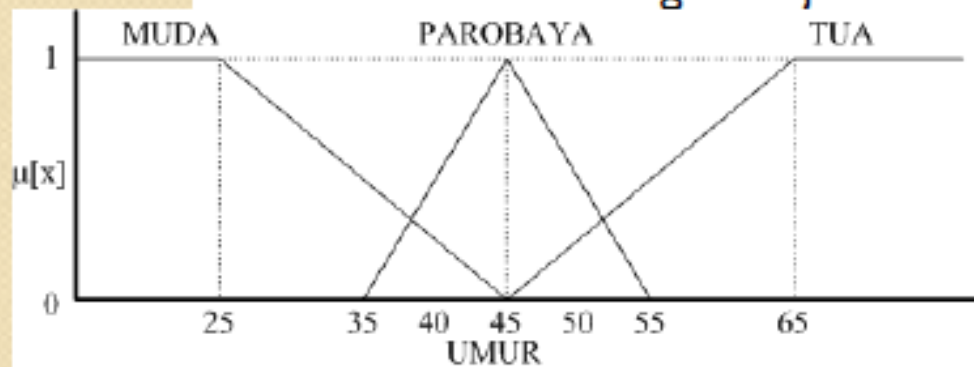
- Fitur yang dijadikan **basis dalam suatu sistem penalaran fuzzy**.
- Contoh : umur, suhu, berat badan, tinggi badan, dsb

- Himpunan Fuzzy

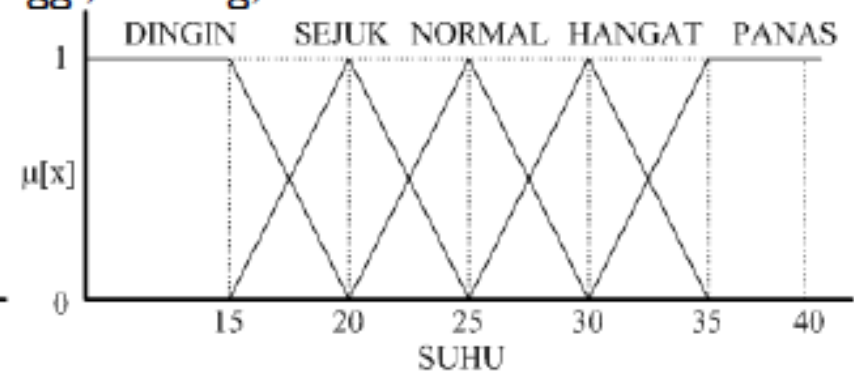
- Himpunan fuzzy yang mewakili suatu **kondisi** pada suatu variabel fuzzy.

Contoh :

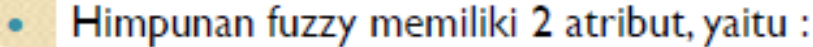
- Variabel umur terbagi menjadi 3 himpunan fuzzy: muda, parobaya, tua
- Variabel suhu terbagi 3 menjadi himpunan fuzzy: panas, hangat, dingin.
- Variabel nilai terbagi menjadi 3 : tinggi, sedang, rendah



Himpunan Fuzzy variabel UMUR

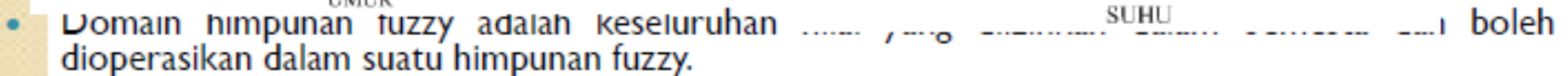


Himpunan Fuzzy variabel SUHU



- Himpunan Semesta

-
- The graph shows three fuzzy membership functions for age categories: MUDA, PAROBAYA, and TUA. The x-axis is labeled 'UMUR' (Age) and ranges from 25 to 65. The y-axis is labeled $\mu[x]$ and ranges from 0 to 1. The MUDA function is a trapezoid starting at 1 at age 25 and decreasing to 0 at age 55. The PAROBAYA function is a triangle starting at 0 at age 35, peaking at 1 at age 45, and decreasing to 0 at age 55. The TUA function is a trapezoid starting at 0 at age 45 and increasing to 1 at age 65.



- Contoh:
- MUDA = [0 45], PAROBAYA = [35 55], TUA = [45 +∞]
- DINGIN = [0 20], SEJUK = [15 25], NORMAL = [20 30], HANGAT = [25 35], PANAS = [30 40]

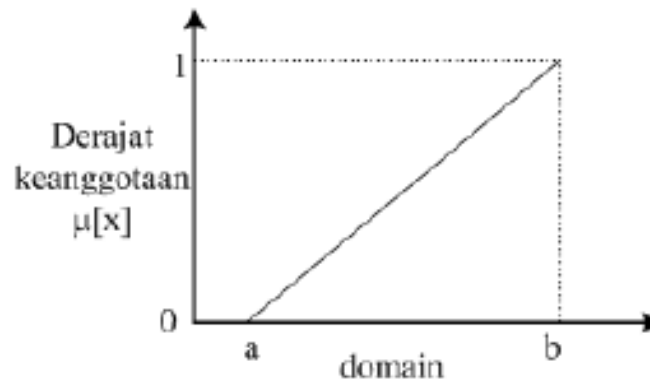


Fungsi Keanggotaan

- Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan **pemetaan titik-titik input data** (sumbu x) **kepada nilai keanggotaannya** (sering juga disebut derajat keanggotaan) yang mempunyai **interval mulai 0 sampai 1**.

- Menggunakan pendekatan fungsi:

- Linear naik
- Linear turun
- Kurva segitiga
- Kurva trapesium
- Kurva Sigmoid
- Kurva Phi
- Kurva Beta
- Kurva Gauss



Linear naik

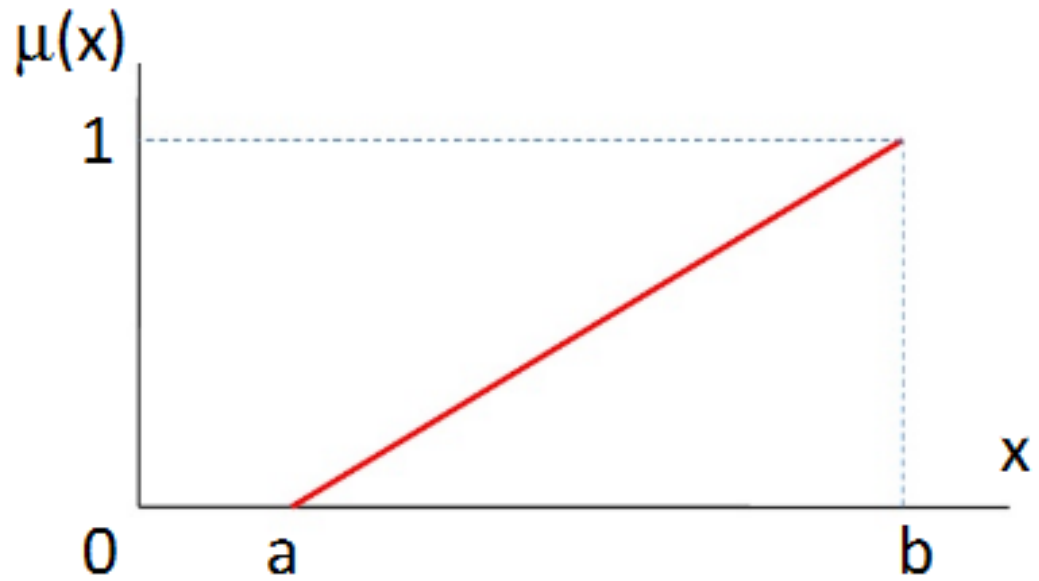
$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & , x < a \\ (x - a) / (b - a) & , a \leq x \leq b \\ 1 & , x > b \end{cases}$$

- Fungsi Linear naik dan Linear turun

- Berupa suatu garis lurus.
- Untuk Linear naik: dimulai dari derajat 0 bergerak kekanan menuju ke nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan lebih tinggi.
- Untuk Linear turun: dimulai dari derajat 1 pada sisi kiri bergerak kekanan menuju ke nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan lebih rendah.

Fungsi Keanggotaan – Kurva Linier

Grafik keanggotaan kurva linier naik, yaitu kenaikan himpunan fuzzy dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi



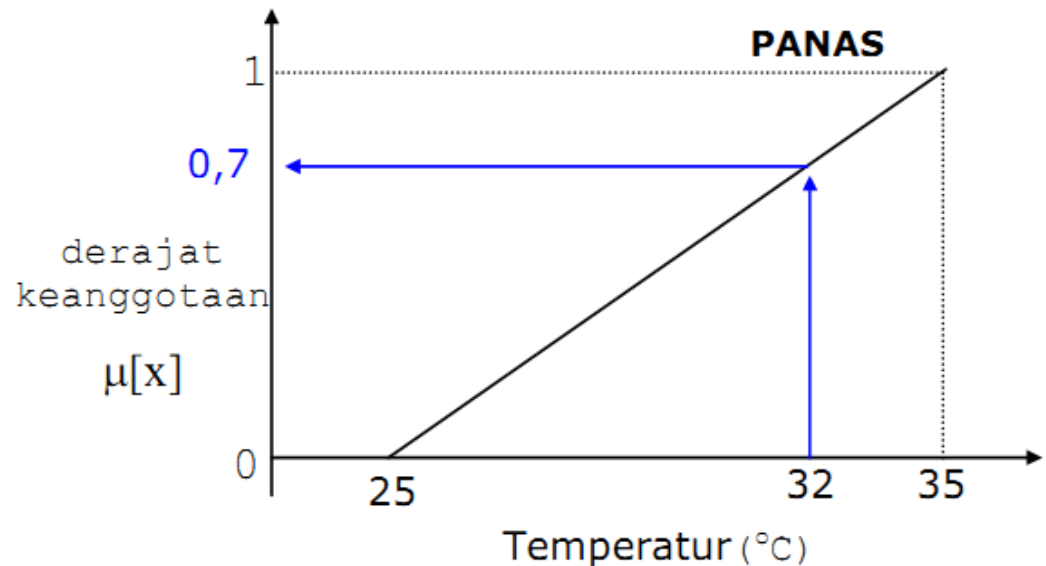
$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

FUNGSI KEANGGOTAAN HIMPUNAN FUZZY NAIK

Fungsi keanggotaan untuk himpunan PANAS pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar. Berapa derajat keanggotaan 32 pada himpunan PANAS tersebut?

$$\begin{aligned}\mu_{\text{PANAS}}[32] &= (32-25)/(35-25) \\ &= 7/10 = 0,7\end{aligned}$$

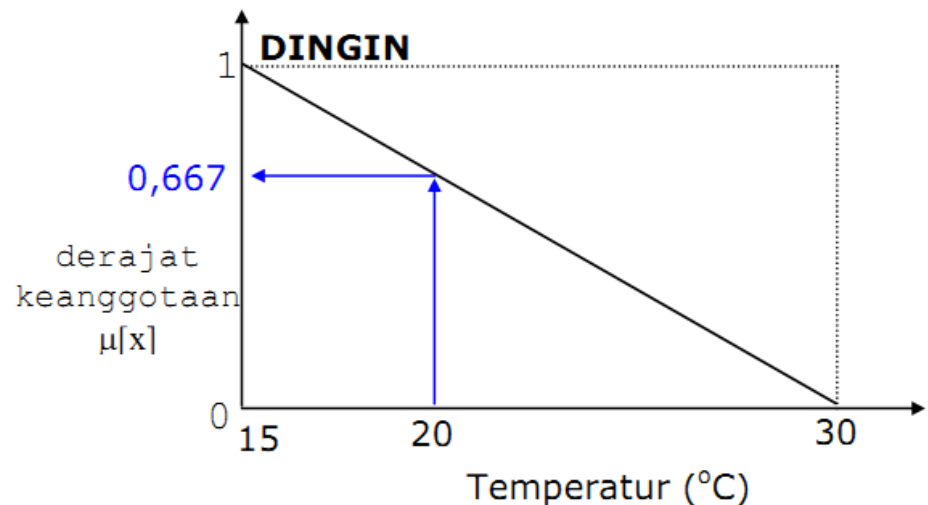
$$\mu \text{ Panas } (27) = \text{????}$$



FUNGSI KEANGGOTAAN HIMPUNAN FUZZY TURUN

Grafik keanggotaan kurva linier turun, yaitu himpunan fuzzy dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, bergerak menurun menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah

Fungsi keanggotaan untuk himpunan DINGIN pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar. Berapa derajat keanggotaan pada himpunan TURUN?



$$\begin{aligned}\mu_{\text{DINGIN}}[20] &= (30-20)/(30-15) \\ &= 10/15 = 0,667\end{aligned}$$

$$\mu_{\text{dingin}}(25) = \text{????}$$

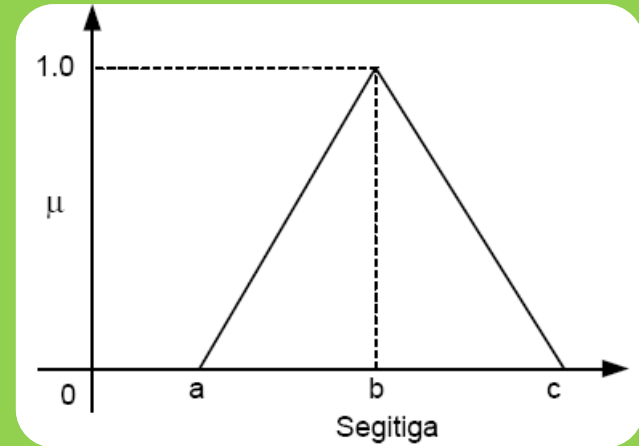
$$\mu_{\text{dingin}}(17) = \text{????}$$

2. Representasi segitiga (triangular)
Ditentukan oleh 3 parameter {a, b, c} sebagai berikut :

$$\text{triangle}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

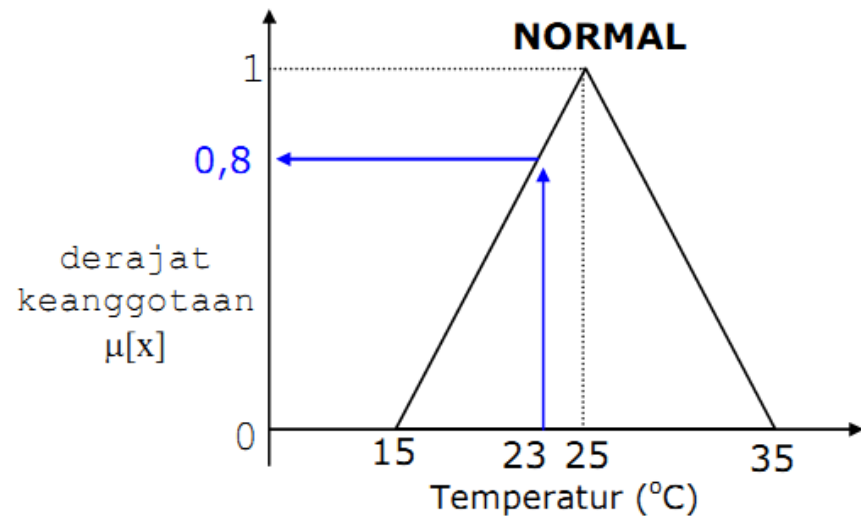


Kurva Segitiga



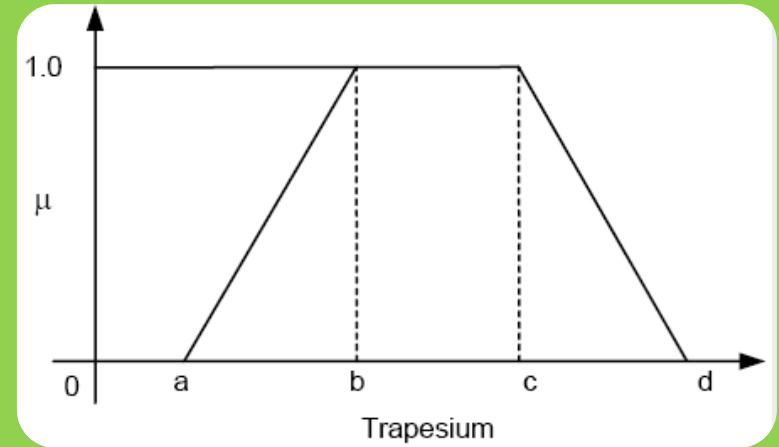
Fungsi keanggotaan untuk himpunan NORMAL pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar

$$\begin{aligned} \mu_{\text{NORMAL}}[23] &= (23-15)/(25-15) \\ &= 8/10 = 0,8 \end{aligned}$$



Grafik Keanggotaan Kurva Trapesium ditentukan oleh 4 parameter {a,b,c,d} sebagai berikut :

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$



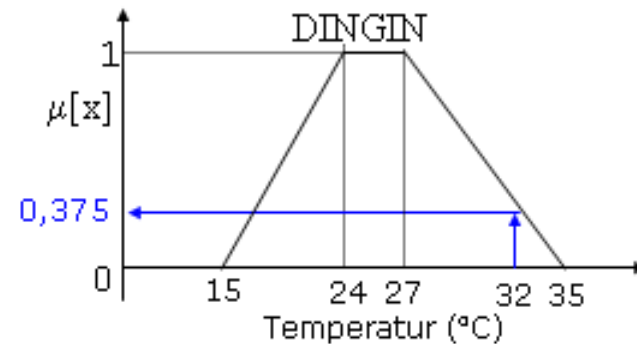
Fungsi keanggotaan untuk himpunan DINGIN pada variabel temperatur ruangan seperti terlihat pada Gambar 5.9. Berapa derajat keanggotaan 32 dan 25 pada himpunan DINGIN tersebut ?

$$\text{mDINGIN}[32] = (35-32)/(35-27)$$

$$= 3/8$$

$$= 0,375$$

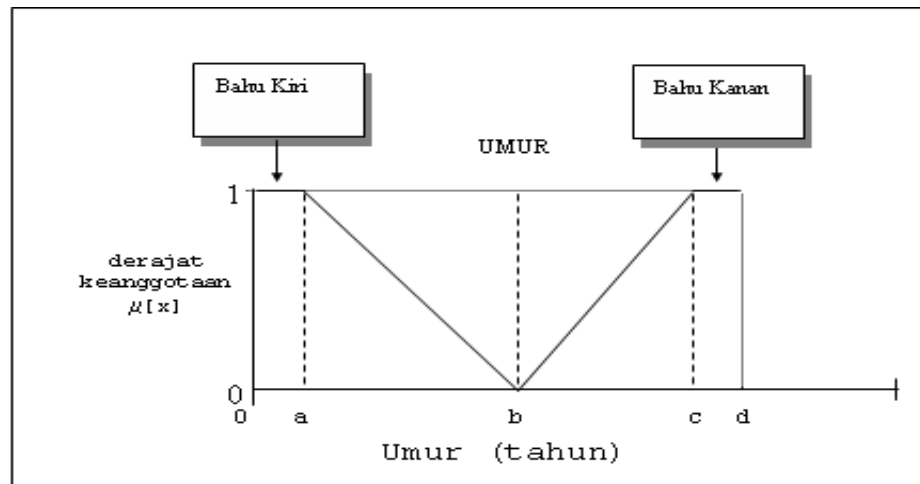
$$\text{mDINGIN}[25] = 1$$



Gambar 5.9: Himpunan fuzzy: DINGIN (kurva trapesium).

Grafik Keanggotaan Kurva BAHU

Grafik keanggotaan kurva “bahu” digunakan untuk mengkahiri variable suatu daerah fuzzy yang nilai derajat keanggotaannya adalah konstan (biasanya 1). Gambar berikut menunjukkan variable UMUR dengan daerah bahunya.



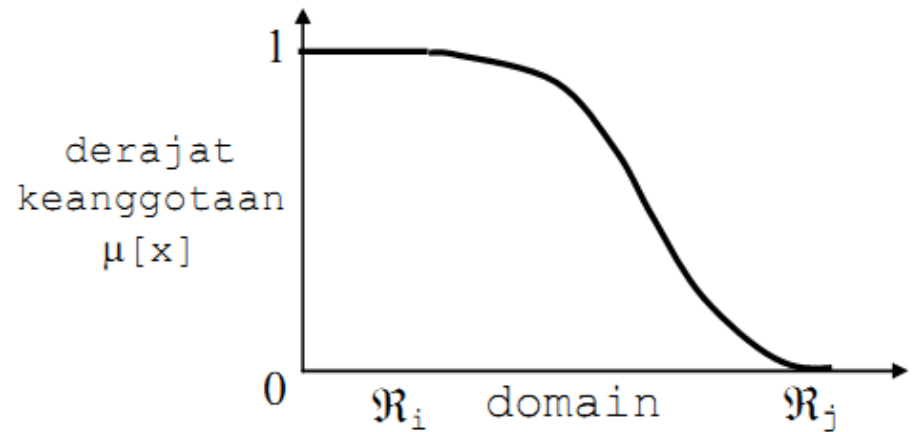
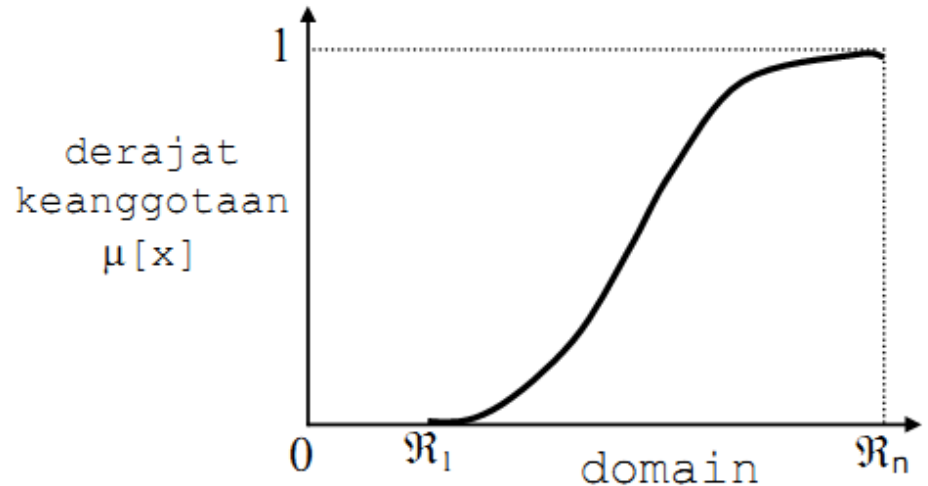
Gambar 5.10: Grafik keanggotaan kurva "bahu" pada variabel umur

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

Grafik Keanggotaan Kurva S (Sigmoid)

Kurva PERTUMBUHAN dan PENYUSUTAN merupakan kurva-S atau sigmoid yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear.

Kurva-S untuk PERTUMBUHAN akan bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1). Fungsi keanggotaannya akan tertumpu pada 50% nilai keanggotaannya yang sering disebut dengan titik infleksi

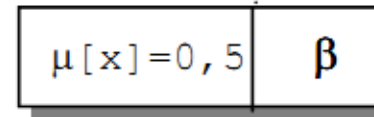
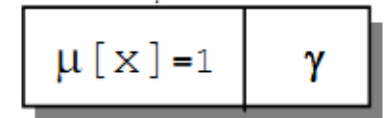
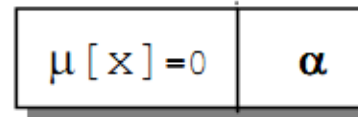
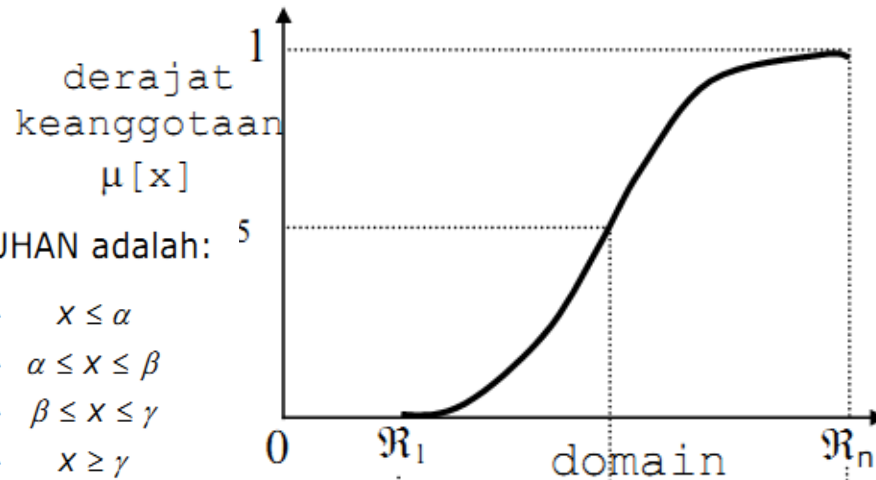


Kurva-S untuk PENYUSUTAN akan bergerak dari sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) ke sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0)

Grafik Keanggotaan Kurva S (Sigmoid)

Fungsi keanggotaan pada kurva PERTUMBUHAN adalah:

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

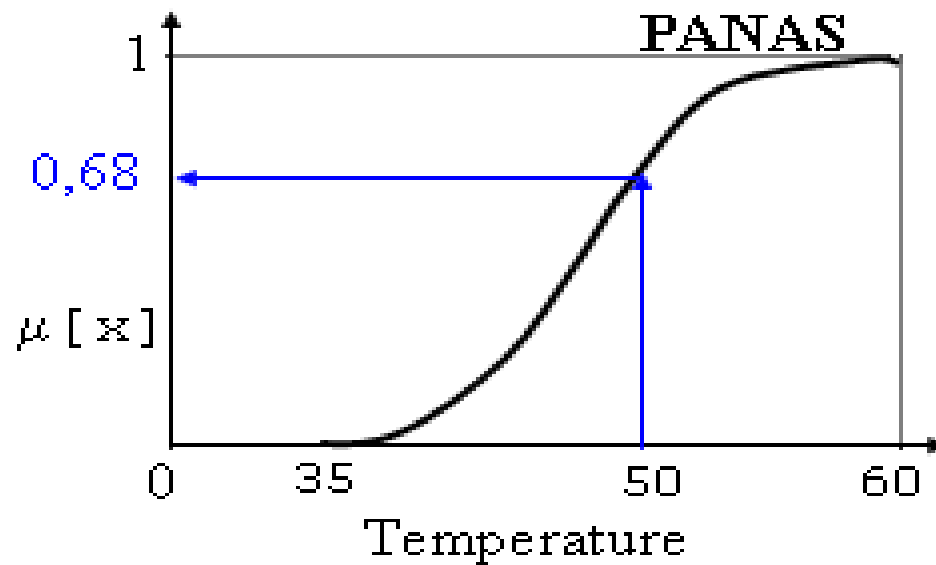


Sedangkan fungsi keanggotaan pada kurva PENYUSUTAN adalah:

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

Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau crossover (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar.

Representasi bentuk S

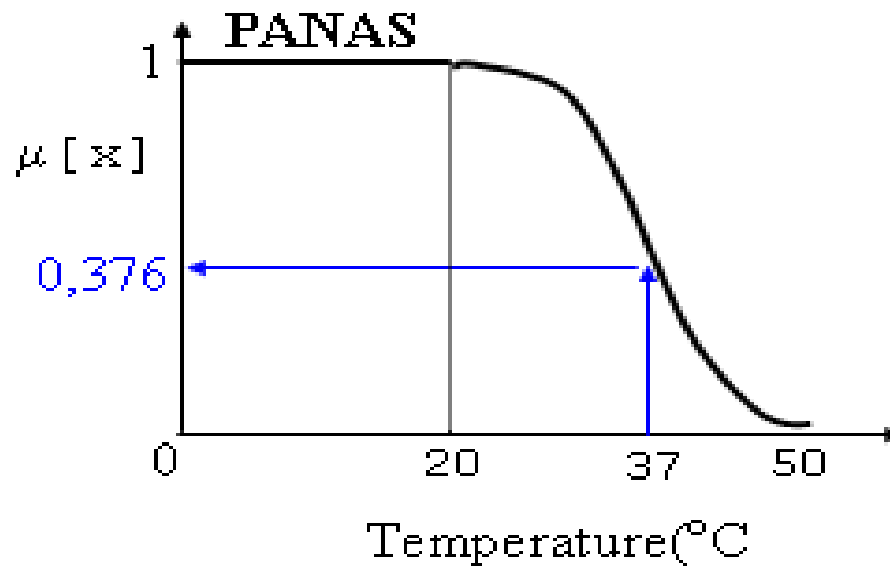


Gambar 5.12: Himpunan Fuzzy PANAS.

Berapa derajat keanggotaan PANAS pada variabel temperatur, bila sebuah benda mempunyai temperatur 50°C dan grafik kurva keanggotaan untuk himpunan fuzzy PANAS terlihat pada Gambar 5.12.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{PANAS}}[50] &= 1 - 2((60-50)/(60-35))^2 \\ &= 1 - 2(10/25)^2 \\ &= 0,68\end{aligned}$$

Representasi bentuk S



Gambar 5.13: Himpunan Fuzzy **PANAS**.

Berapa derajat keanggotaan **PANAS** pada variabel temperatur, bila sebuah benda mempunyai temperatur 37 °C dan grafik kurva keanggotaan untuk himpunan fuzzy **PANAS** terlihat pada Gambar 5.13.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{MUDA}}[37] &= 2((50-37)/(50-20))^2 \\ &= 2(13/30)^2 \\ &= 0,376\end{aligned}$$

Representasi bentuk LONCENG (BELL CURVE)

Untuk merepresentasikan bilangan fuzzy, biasanya digunakan kurva berbentuk lonceng. Kurva berbentuk lonceng ini terbagi atas 3 kelas, yaitu:

- himpunan fuzzy PI,
- beta,
- Gauss.

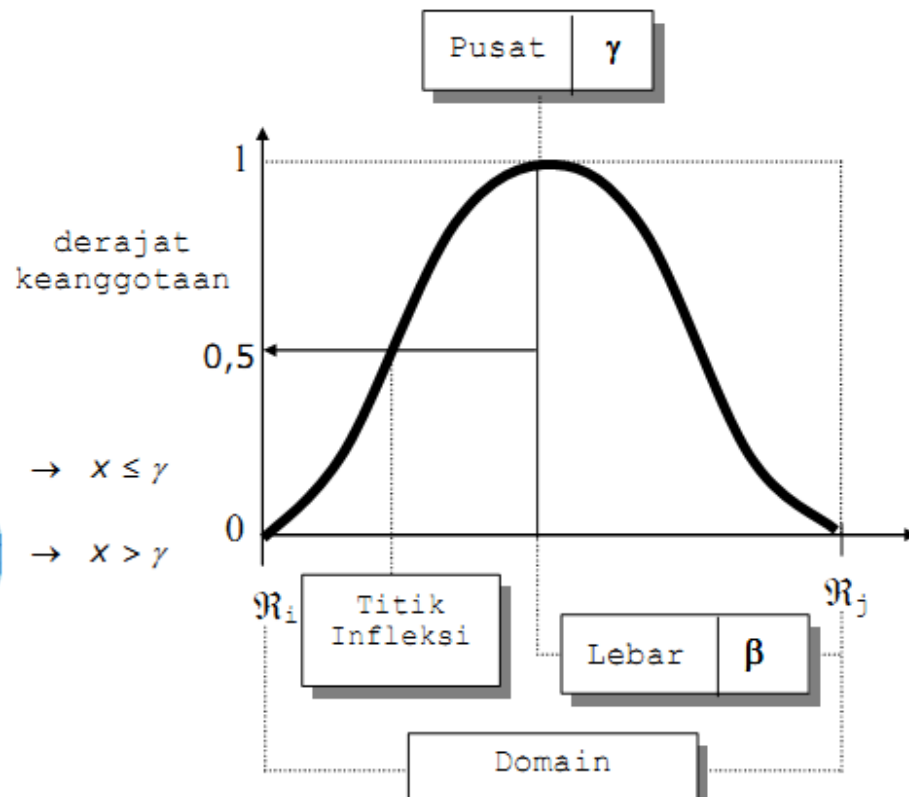
Representasi bentuk LONCENG (BELL CURVE)

Kurva PI

Kurva PI berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat dengan domain (γ), dan lebar kurva (β) seperti terlihat pada Gambar

Fungsi Keanggotaan:

$$\Pi(x, \beta, \gamma) = \begin{cases} S\left(x; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma\right) & \rightarrow x \leq \gamma \\ 1 - S\left(x; \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta\right) & \rightarrow x > \gamma \end{cases}$$



Representasi bentuk LONCENG (BELL CURVE)

Kurva PI

$$\Pi(x, b, c) = \begin{cases} S\left(x; c - b, c - \frac{b}{2}, c\right) & \rightarrow x \leq c \\ 1 - S\left(x; c, c + \frac{b}{2}, c + b\right) & \rightarrow x > c \end{cases}$$

Berapa derajat keanggotaan PANAS pada variabel temperatur, bila sebuah benda mempunyai dua buah sisi, sisi depan temperaturnya 42 °C dan sisi belakang temperaturnya 51°C.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{PANAS}}[42] &= 1 - 2((45-42)/(45-35))^2 \\ &= 1 - 2(3/10)^2 \\ &= 0,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{PANAS}}[51] &= 2((55-51)/(55-45))^2 \\ &= 2(4/10)^2 \\ &= 0,32 \end{aligned}$$

Representasi bentuk LONCENG (BELL CURVE)

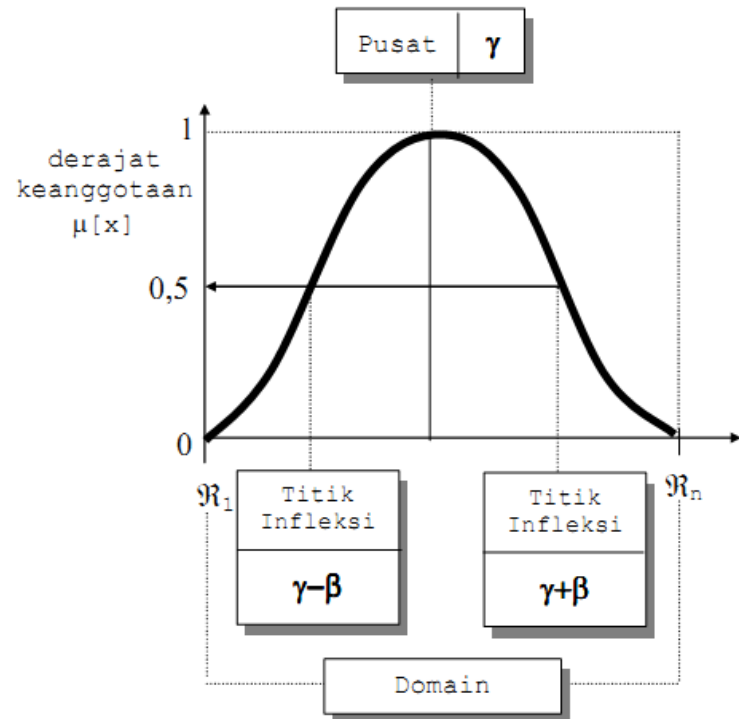
Kurva Beta

Seperti halnya kurva PI, kurva BETA juga berbentuk lonceng namun lebih rapat. Kurva ini juga didefinisikan dengan 2 parameter, yaitu nilai pada domain yang menunjukkan pusat kurva (γ), dan setengah lebar kurva (β) seperti terlihat pada Gambar

Fungsi Keanggotaan:

$$B(x; \gamma, \beta) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^2}$$

Salah satu perbedaan mencolok kurva BETA dari kurva PI adalah, fungsi keanggotaannya akan mendekati nol hanya jika nilai (β) sangat besar.



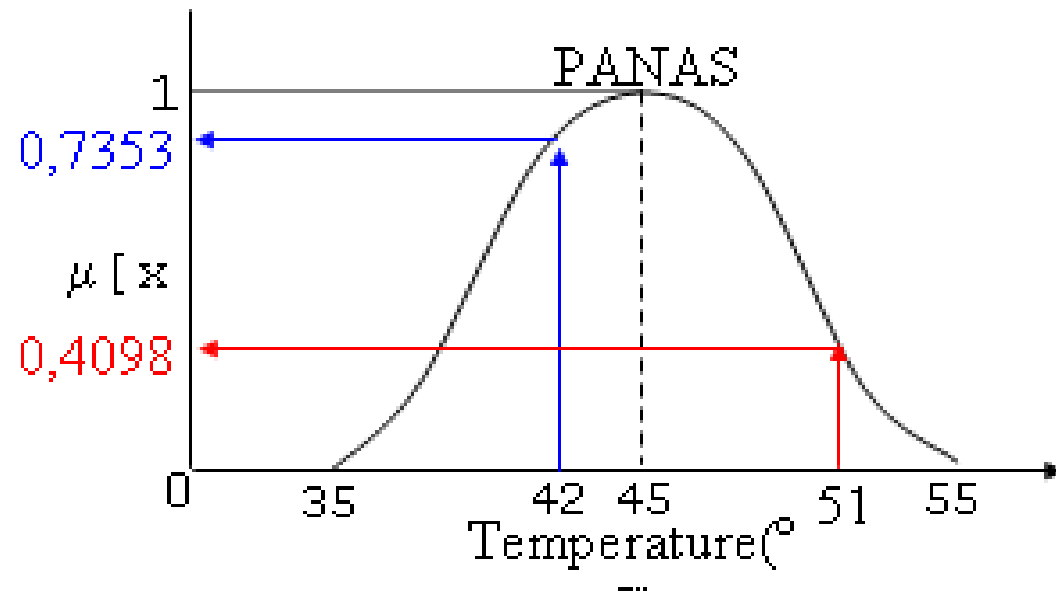
Representasi bentuk LONCENG (BELL CURVE)

Kurva Beta

Berapa derajat keanggotaan PANAS pada variabel temperatur, bila sebuah benda mempunyai dua buah sisi, sisi depan temperaturnya 42 °C dan sisi belakang temperaturnya 51°C.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{PANAS}}[42] &= 1/(1+((42-45)/5)^2) \\ &= 0,7353\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{PANAS}}[51] &= 1/(1+((51-45)/5)^2) \\ &= 0,4098\end{aligned}$$



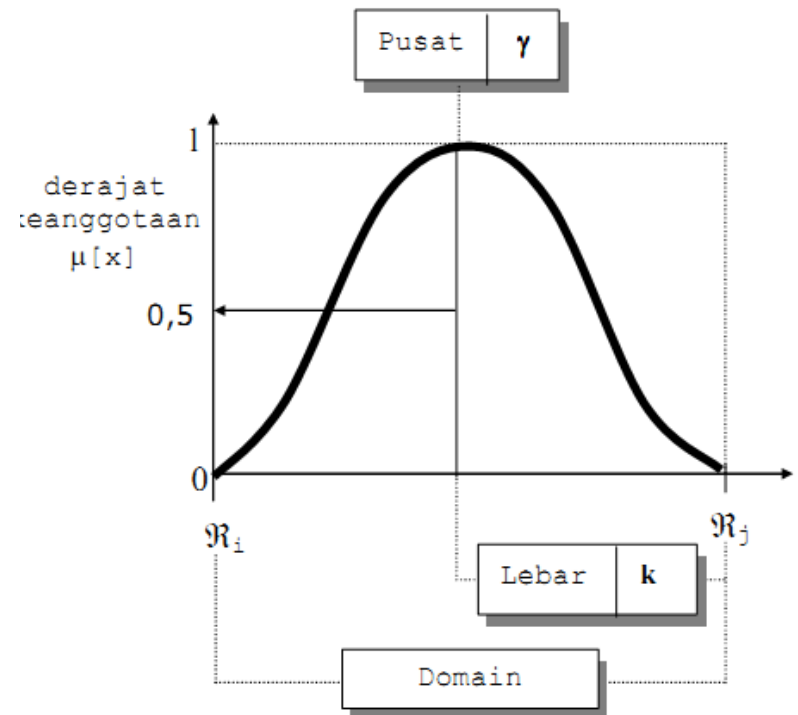
Representasi bentuk LONCENG (BELL CURVE)

Kurva Gauss

Jika kurva PI dan kurva BETA menggunakan 2 parameter yaitu (γ) dan (β), kurva GAUSS juga menggunakan (γ) untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva, dan (k) yang menunjukkan lebar kurva

Fungsi Keanggotaan:

$$G(x; k, \gamma) = e^{-k(\gamma - x)^2}$$



Operasi Logika (Operasi Himpunan Fuzzy)

- Operasi logika adalah operasi yang **mengkombinasikan** dan memodifikasi **2 atau lebih** himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan baru hasil operasi dua himpunan disebut *firing strength* atau α predikat, ada 3 operasi dasar yang diciptakan oleh Zadeh :

1. Operator AND, berhubungan dengan **operasi intersection** pada himpunan, α predikat diperoleh dengan mengambil **nilai minimum** antar kedua himpunan.

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

Misal nilai keanggotaan umur 27 pada himpunan muda adalah $\mu_{MUDA}[27] = 0,6$ dan nilai keanggotaan 2 juta pada himpunan penghasilan TINGGI adalah

$$\mu_{GAJITINGGI}[2juta] = 0,8$$

maka -predikat untuk usia MUDA **dan** berpenghasilan TINGGI adalah nilai keanggotaan **minimum** :

$$\begin{aligned}\mu_{MUDA \cap GAJITINGGI} &= \min(\mu_{MUDA}[27], \mu_{GAJITINGGI}[2juta]) \\ &= \min(0,6 ; 0,8) \\ &= 0,6\end{aligned}$$

2. Operator OR, berhubungan dengan **operasi union** pada himpunan, α predikat diperoleh dengan mengambil nilai **maximum** antar kedua himpunan.

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

Misal nilai keanggotaan umur 27 pada himpunan muda adalah $\mu_{MUDA}[27] = 0,6$ dan nilai keanggotaan 2 juta pada himpunan penghasilan TINGGI adalah

$$\mu_{GAJITINGGI}[2juta] = 0,8$$

maka -predikat untuk usia MUDA **atau** berpenghasilan TINGGI adalah nilai keanggotaan **maksimum** :

$$\begin{aligned}\mu_{MUDA \cup GAJITINGGI} &= \max(\mu_{MUDA}[27], \mu_{GAJITINGGI}[2juta]) \\ &= \max(0,6 ; 0,8) \\ &= 0,8\end{aligned}$$

3. Operasi NOT, berhubungan dengan operasi *komplemen* pada himpunan, α predikat diperoleh dengan **mengurangkan** nilai keanggotaan elemen pada himpunan dari 1.

Misal nilai keanggotaan umur 27 pada himpunan muda adalah $\mu_{\text{MUDA}}[27] = 0,6$ maka -predikat untuk usia TIDAK MUDA adalah :

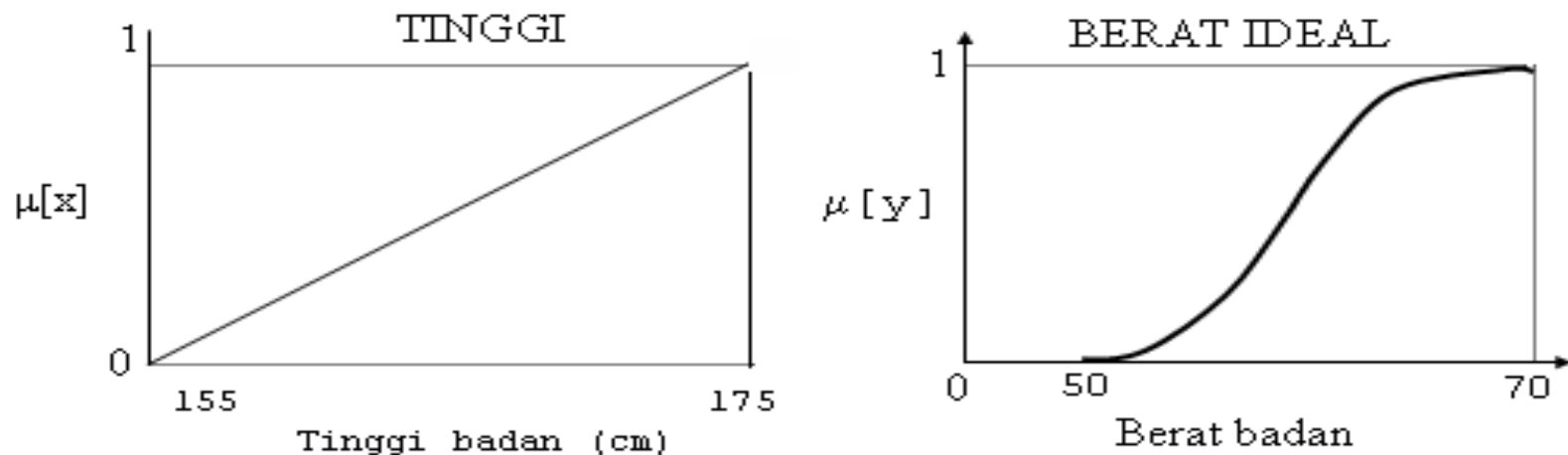
$$\begin{aligned}\mu_{\text{MUDA}'}[27] &= 1 - \mu_{\text{MUDA}}[27] \\ &= 1 - 0,6 \\ &= 0,4\end{aligned}$$

Penalaran Monoton

Penalaran monoton digunakan untuk merelasikan himpunan fuzzy A pada variabel x dan himpunan fuzzy B pada variabel y dengan cara membuat implikasi berikut

IF x is A THEN y is B

Diketahui dua himpunan fuzzy: TINGGI (tinggi badan orang Semarang) dan BERAT (berat badan ideal orang Semarang) seperti terlihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19: himpunan Tinggi badan dan Berat badan

Penalaran Monoton

Relasi antara kedua himpunan diatas diekspresikan dengan aturan tunggal berikut:

IF TinggiBadan is TINGGI THEN BeratBadan is BERAT IDEAL

Jika Cuplis mempunyai tinggi badan 168 cm dengan berat badan 55 kg, apakah Cuplis termasuk orang yang mempunyai berat badan ideal, kurus atau gemuk ?

Penalaran Monoton

Sebelumnya kita hitung dulu bagian IF, yaitu menghitung derajat tinggi badan sebagai berikut,

$$\text{Derajat Tinggi [168]} = (168 - 155) / (175 - 155) = 0.65$$

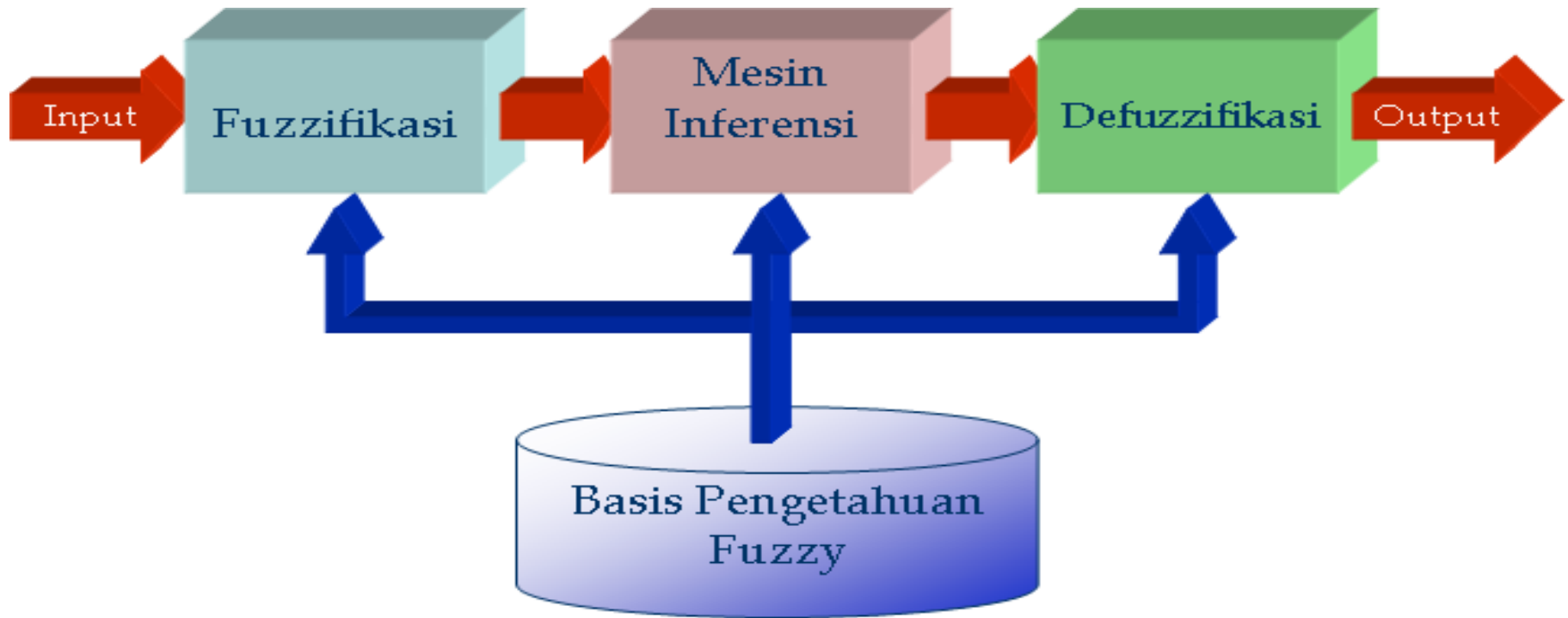
Derajat Tinggi untuk merelasikan himpunan TINGGI dan BERAT IDEAL dengan cara menghitung bagian THEN, yaitu

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat[0.65]} &\quad \longleftrightarrow \quad 1 - 2[(70 - y) / (70 - 50)]^2 = 0.65 \\ &\quad \longleftrightarrow \quad 1 - 2(70 - y)^2 / 400 = 0.65 \\ &\quad \longleftrightarrow \quad 2(70 - y)^2 / 400 = 0.35 \\ &\quad \longleftrightarrow \quad (70 - y)^2 = 70 \\ &\quad \longleftrightarrow \quad (70 - y) = 8.366 \\ &\quad \longleftrightarrow \quad y = 61.634 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat badan Cuplis adalah 55 kg, berarti Cuplis termasuk orang **kurus**, karena berat badannya lebih rendah dari berat badan idealnya 61,634 kg.

Cara Kerja Logika Fuzzy

Memetakan ruang input menuju ruang output menggunakan logika fuzzy



Gambar 5.22: Struktur sistem inferensi fuzzy

Cara Kerja Logika Fuzzy

Basis Pengetahuan : kumpulan rule-rule dalam bentuk pernyataan IF...THEN yang dibuat oleh pakar dibidangnya.

Fuzzifikasi : adalah proses untuk mengubah input sistem yang mempunyai nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan fuzzy.

Mesin inferensi: proses untuk mengubah input fuzzy menjadi output fuzzy dengan cara mengikuti aturan-aturan (*IF-THEN Rules*) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan fuzzy.

DeFuzzifikasi : mengubah output fuzzy yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan fuzzyfikasi.

Cara Kerja Logika Fuzzy

1. Fuzzyfikasi
2. Pembentukan basisi pengetahuan Fuzzy (Rule dalam bentuk IF.. THEN)
3. Mesin inferensi (Fungsi implikasi Max-Min atau Dot-Product)
4. Defuzzyfikasi:
 - a. Metode Rata-rata (average)
 - b. Metode Titik tengah (centroid)

Sistem Inferensi Fuzzy

METODE TSUKAMOTO

Secara umum bentuk model fuzzy tsukamoto adalah:

If (x is A) and (y is B) then (z is C)

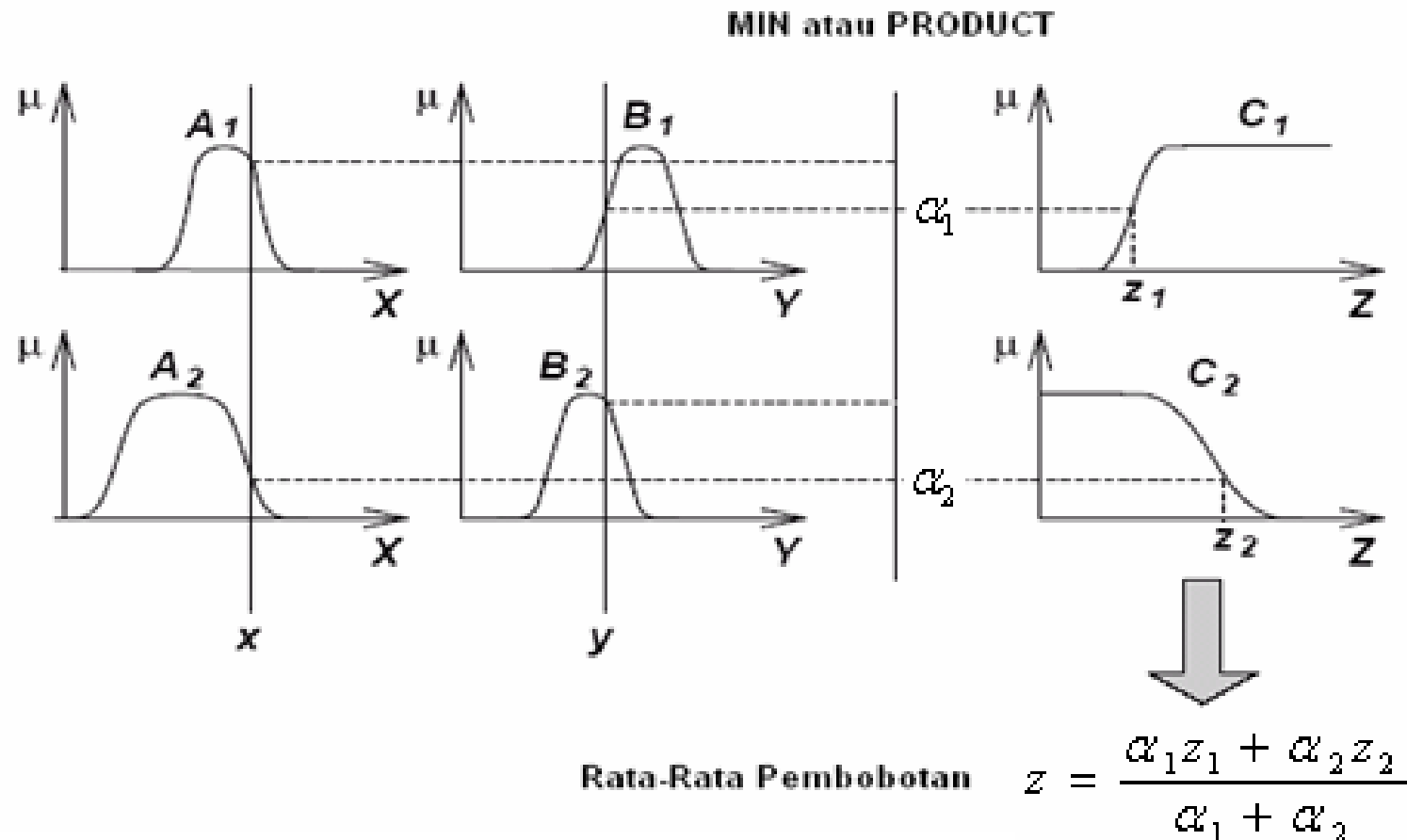
Dimana A, B, dan C adalah himpunan fuzzy.

Misalkan diketahui 2 rule berikut :

If (x is A1) and (y is B1) then (z is C1)

If (x is A2) and (y is B2) then (z is C2)

Metode Tsukamoto



GAMBAR 5.23 menunjukkan skema penalaran fungsi implikasi min atau product dan proses defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

Metode Mamdani

Metode mamdani paling sering digunakan dalam aplikasi-aplikasi karena strukturnya yang sederhana, yaitu menggunakan operasi min-max atau max-product. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan:

1. Fuzzyfikasi (pembentukan himpunan fuzzy dan perhitungan derajat keanggotaan)
2. Aplikasi fungsi implikasi menggunakan fungsi min
3. Komposisi antar rule menggunakan fungsi max atau max-product (menghasilkan himpunan fuzzy baru)
4. Penegasan (deffuzzy) menggunakan metode centroid

Metode Sugeno

Secara umum bentuk model fuzzy SUGENO adalah:

IF (x1 is A1) · · (xN is AN) THEN $z = f(x,y)$

Catatan :

A_1, A_2, \dots, A_N , adalah himpunan fuzzy ke-i sebagai anteseden

$z = f(x,y)$ adalah fungsi tegas (biasanya merupakan fungsi linier dari x dan y).

Metode Sugeno

Secara umum bentuk model fuzzy SUGENO adalah:

IF (x1 is A1) · · (xN is AN) THEN $z = f(x,y)$

Catatan :

A_1, A_2, \dots, A_N , adalah himpunan fuzzy ke-i sebagai anteseden

$z = f(x,y)$ adalah fungsi tegas (biasanya merupakan fungsi linier dari x dan y).

Contoh Aplikasi Logika Fuzzy

Sistem Kontrol Frekuensi Putar Kipas Angin

Untuk mengatur frekuensi putar kipas angin secara otomatis digunakan sistem kontrol. Sistem ini dipengaruhi oleh tiga variabel yaitu kecepatan putar kipas angin, suhu ruangan, dan sumber frekuensi putar kipas angin. Berdasarkan data spesifikasi dari pabrik, **kecepatan** putar kipas angin terkecil 1000 rpm (rotary per menit) dan terbesar 5000 rpm, kemampuan sensor **suhu** ruangan berada dalam interval 100 Kelvin hingga 600 Kelvin, sedangkan sumber frekuensi putar kipas angin hanya mampu menyediakan **frekuensi** sebesar 2000 rpm hingga 7000 rpm. Apabila sistem kontrol ruangan tersebut menggunakan 4 rule berikut,

Contoh Aplikasi Logika Fuzzy

- [R1] IF kecepatan LAMBAT And suhu TINGGI THEN frekuensi KECIL;
- [R2] IF kecepatan LAMBAT And suhu RENDAH THEN frekuensi KECIL;
- [R3] IF kecepatan CEPAT And suhu TINGGI THEN frekuensi BESAR;
- [R4] IF kecepatan CEPAT And suhu RENDAH THEN frekuensi BESAR;

Berapa sumber frekuensi putar kipas angin yang dihasilkan sistem kontrol tersebut bila pada saat itu sensor suhu menunjukkan angka 300 Kelvin sedangkan kipas angin berputar dengan kecepatan 4000 rpm ?

Selesaikan masalah ini dengan menggunakan metode :

- a) Tsukamoto
- b) Mamdani

Contoh Aplikasi Logika Fuzzy

c) Sugeno, tetapi rule-rulanya berubah menjadi berikut :

[R1] IF kecepatan LAMBAT And suhu TINGGI THEN
frekuensi = $0,5 * \text{kecepatan} + 1700$;

[R2] IF kecepatan LAMBAT And suhu RENDAH THEN
frekuensi = $2 * \text{kecepatan} - 4000$;

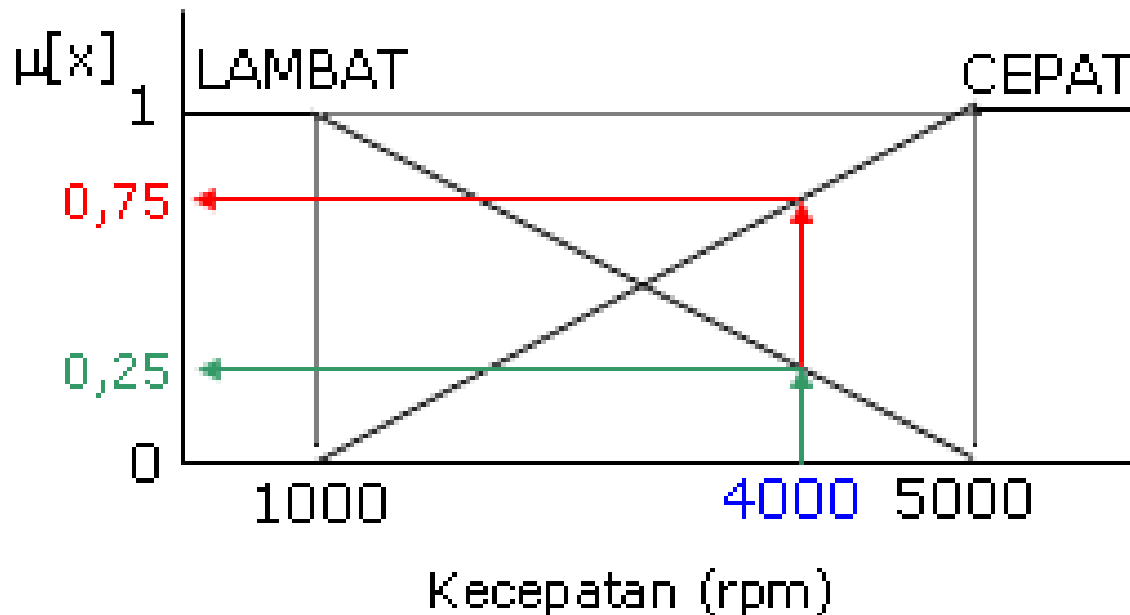
[R3] IF kecepatan CEPAT And suhu TINGGI THEN
frekuensi = $0,5 * \text{kecepatan} + 2000$;

[R4] IF kecepatan CEPAT And suhu RENDAH THEN
frekuensi = $\text{kecepatan} + 700$;

Metode Tsukamoto (Fuzzifikasi)

Ada 3 variabel fuzzy yang dapat dimodelkan menjadi grafik keanggotaan seperti berikut:

kecepatan; terdiri-atas 2 himpunan fuzzy, yaitu:
LAMBAT dan CEPAT



Gambar 5.2 7: Fungsi keanggotaan variabel Kecepatan

Metode Tsukamoto (Fuzzifikasi)

$$\mu_{LAMBAT}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 1000 \\ \frac{5000 - x}{4000}, & 1000 \leq x \leq 5000 \\ 0, & x \geq 5000 \end{cases}$$

$$\mu_{CEPAT}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 1000 \\ \frac{x - 1000}{4000}, & 1000 \leq x \leq 5000 \\ 1, & x \geq 5000 \end{cases}$$

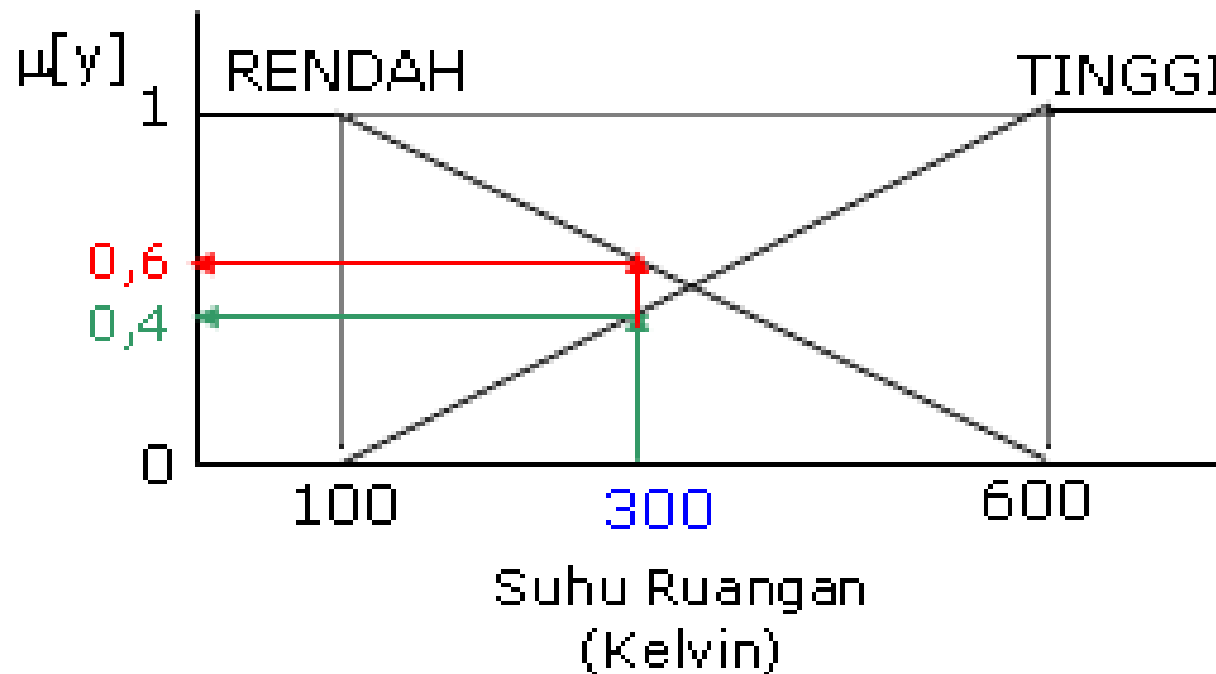
Derajat keanggotaan untuk kecepatan 4000 rpm adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{LAMBAT}[4000] &= (5000 - 4000) / 4000 \\ &= 0,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{Cepat}[4000] &= (4000 - 1000) / 4000 \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

Metode Tsukamoto (Fuzzifikasi)

Suhu; terdiri-atas 2 himpunan fuzzy, yaitu:
RENDAH dan TINGGI



Gambar 5.28: Fungsi keanggotaan variable Suhu

Metode Tsukamoto (Fuzzifikasi)

$$\mu_{RENDAH}[y] = \begin{cases} 1, & y \leq 100 \\ \frac{600 - y}{500}, & 100 \leq y \leq 600 \\ 0, & y \geq 600 \end{cases}$$

$$\mu_{TINGGI}[y] = \begin{cases} 0, & y \leq 100 \\ \frac{y - 100}{500}, & 100 \leq y \leq 600 \\ 1, & y \geq 600 \end{cases}$$

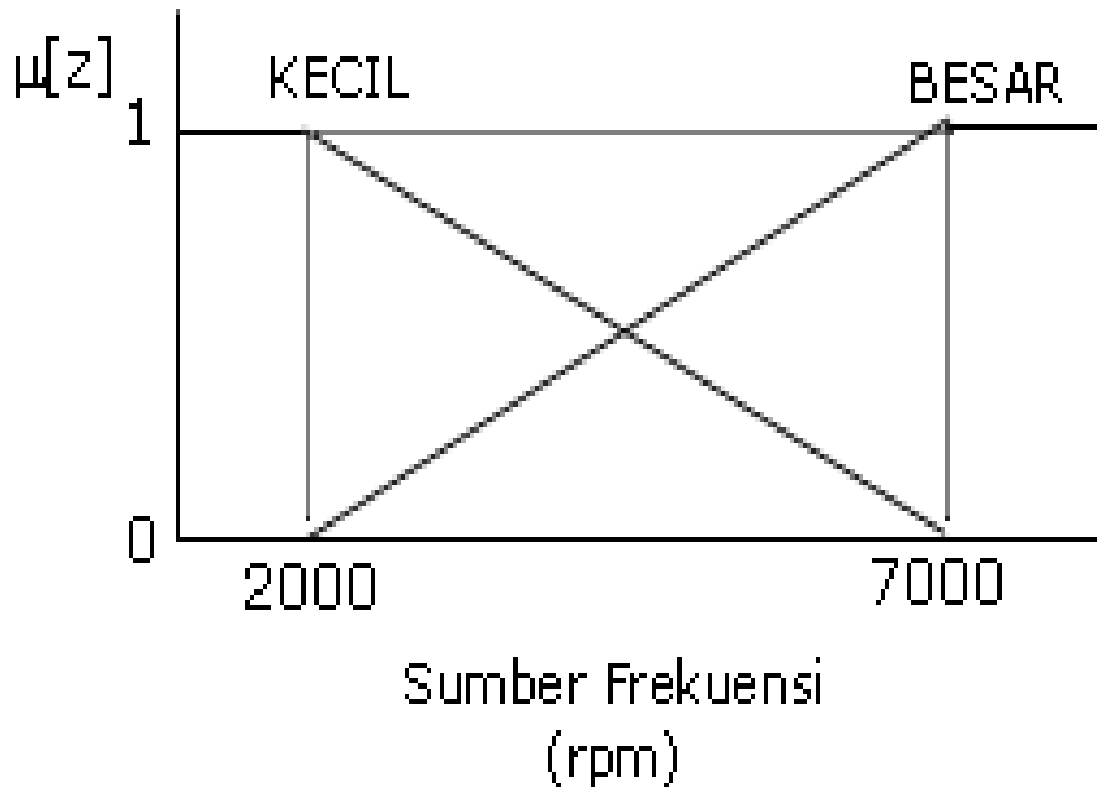
Derajat keanggotaan untuk suhu 300 Kelvin adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{RENDAH}[300] &= (600-300)/500 \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{TINGGI}[300] &= (300-100)/500 \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

Metode Tsukamoto (Fuzzifikasi)

Frekuensi; terdiri-atas 2 himpunan fuzzy, yaitu: KECIL dan BESAR



Gambar 5.29: Fungsi keanggotaan variable Frekuensi

Metode Tsukamoto (Fuzzifikasi)

$$\mu_{KECIL}[z] = \begin{cases} 1, & z \leq 2000 \\ \frac{7000 - z}{5000}, & 2000 \leq z \leq 7000 \\ 0, & z \geq 7000 \end{cases}$$

$$\mu_{BESAR}[z] = \begin{cases} 0, & z \leq 2000 \\ \frac{z - 2000}{5000}, & 2000 \leq z \leq 7000 \\ 1, & z \geq 7000 \end{cases}$$

Metode Tsukamoto (Pembentukan Rule)

- [R1] IF kecepatan LAMBAT And suhu TINGGI THEN frekuensi KECIL;
- [R2] IF kecepatan LAMBAT And suhu RENDAH THEN frekuensi KECIL;
- [R3] IF kecepatan CEPAT And suhu TINGGI THEN frekuensi BESAR;
- [R4] IF kecepatan CEPAT And suhu RENDAH THEN frekuensi BESAR;

Metode Tsukamoto (Inferensi)

[R1] IF kecepatan LAMBAT And suhu TINGGI THEN frekuensi KECIL;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat1} &= \mu_{\text{LAMBAT}} \cap \mu_{\text{TINGGI}} \\ &= \min(\mu_{\text{LAMBAT}}[4000], \mu_{\text{TINGGI}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,4) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Lihat himpunan KECIL pada grafik keanggotaan variabel frekuensi,

$$(7000 - z) / 5000 = 0,25 \quad \text{--->} \quad z1 = 5750 \text{ (rpm)}$$

Metode Tsukamoto (Inferensi)

[R2] IF kecepatan LAMBAT And suhu RENDAH THEN frekuensi KECIL;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat2} &= \mu_{\text{LAMBAT}} \cap \text{RENDAH} \\ &= \min(\mu_{\text{LAMBAT}}[4000], \mu_{\text{RENDAH}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,6) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Lihat himpunan KECIL pada grafik keanggotaan variabel frekuensi,

$$(7000-z)/5000 = 0,25 \quad \text{--->} \quad z_2 = 5750 \text{ (rpm)}$$

Metode Tsukamoto (Inferensi)

[R3] IF kecepatan CEPAT And suhu TINGGI THEN frekuensi BESAR;

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

Lihat himpunan BESAR pada grafik keanggotaan variabel frekuensi,

$$(z-2000)/5000 = 0,4 \quad \text{--->} \quad z3 = 4000 \text{ (rpm)}$$

Metode Tsukamoto (Inferensi)

[R4] IF kecepatan CEPAT And suhu RENDAH THEN frekuensi BESAR;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat4} &= \mu_{\text{CEPAT}} \cap \text{RENDAH} \\ &= \min(\mu_{\text{CEPAT}}[4000], \mu_{\text{RENDAH}}[300]) \\ &= \min(0,75; 0,6) \\ &= 0,6\end{aligned}$$

Lihat himpunan BESAR pada grafik keanggotaan variabel frekuensi,

$$(z-2000)/5000 = 0,6 \quad \text{--->} \quad z4 = 5000 \text{ (rpm)}$$

Metode Tsukamoto (Defuzzifikasi)

Nilai tegas z dapat dicari menggunakan rata-rata terbobot, yaitu:

$$z = \frac{\alpha pred_1 * z_1 + \alpha pred_2 * z_2 + \alpha pred_3 * z_3 + \alpha pred_4 * z_4}{\alpha pred_1 + \alpha pred_2 + \alpha pred_3 + \alpha pred_4}$$

$$z = \frac{0,25 * 5750 + 0,25 * 5750 + 0,4 * 4000 + 0,6 * 5000}{0,25 + 0,25 + 0,4 + 0,6} = \frac{7475}{1,5} = 4983$$

Jadi sumber frekuensi putar kipas angin yang dihasilkan sistem kontrol haruslah 4983 rpm.

Metode Mamdani (Fuzzifikasi & Pembentukan Rule)

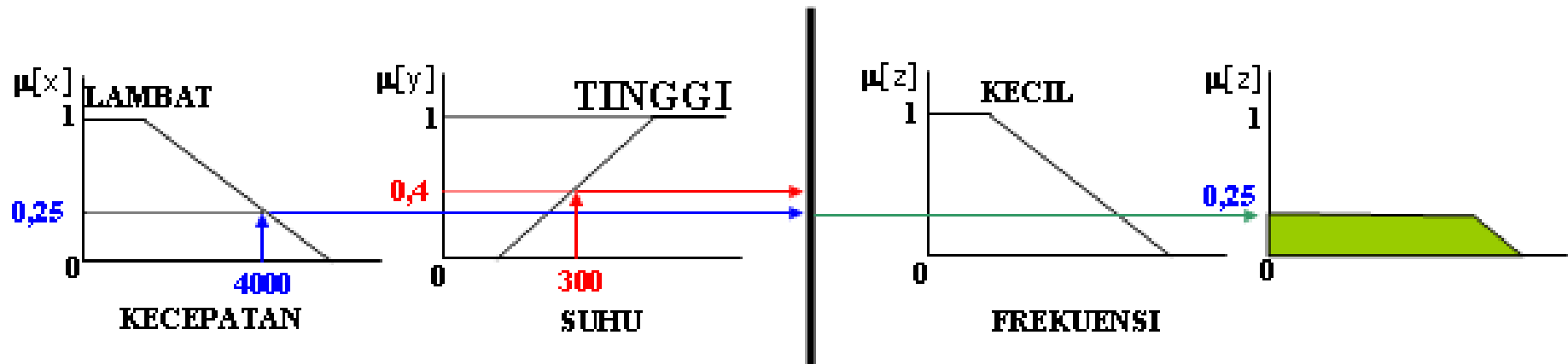
Sama seperti sebelumnya

Metode Mamdani (Inferensi)

Kita terapkan fungsi MIN untuk setiap aturan pada aplikasi fungsi implikasinya:

[R1] IF kecepatan LAMBAT And suhu TINGGI THEN frekuensi KECIL;

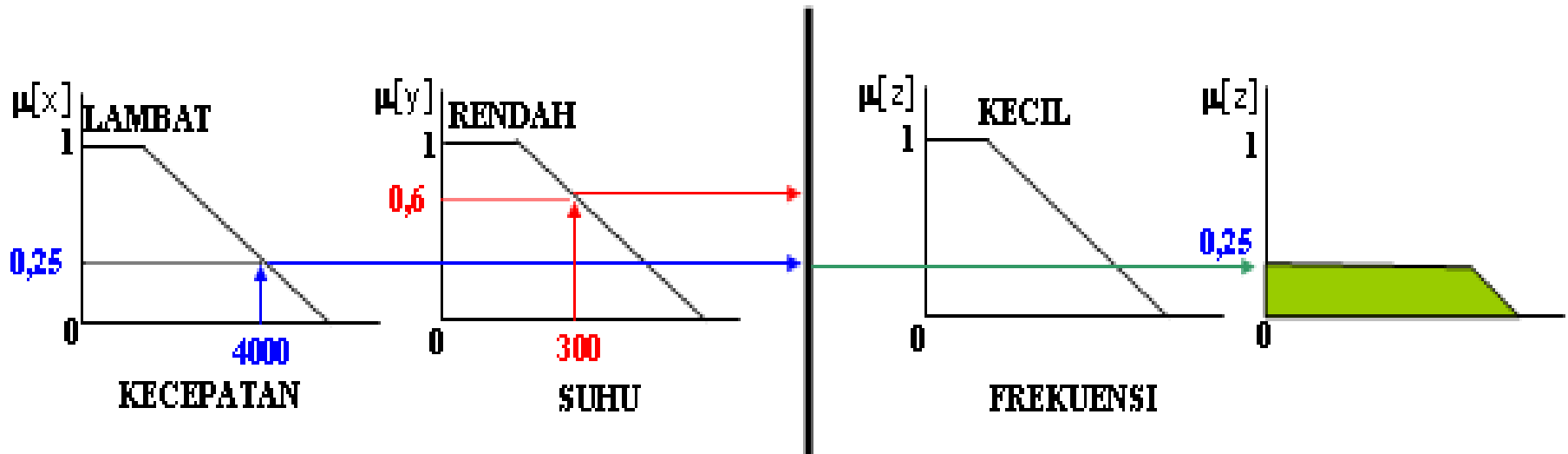
$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat1} &= \mu_{\text{LAMBAT}} \cap \mu_{\text{TINGGI}} \\ &= \min(\mu_{\text{LAMBAT}}[4000], \mu_{\text{TINGGI}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,4) \\ &= 0,25\end{aligned}$$



Metode Mamdani (Inferensi)

[R2] IF kecepatan LAMBAT And suhu RENDAH THEN frekuensi KECIL;

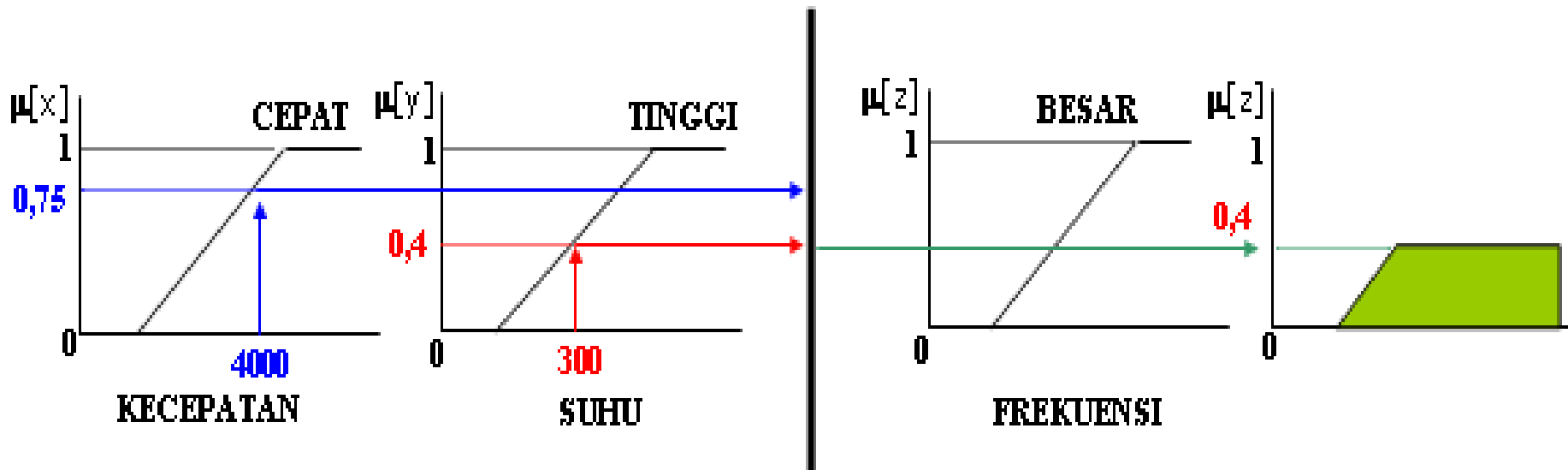
$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat2} &= \mu_{\text{LAMBAT}} \cap \mu_{\text{RENDAH}} \\ &= \min(\mu_{\text{LAMBAT}}[4000], \mu_{\text{RENDAH}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,6) \\ &= 0,25\end{aligned}$$



Metode Mamdani (Inferensi)

[R3] IF kecepatan CEPAT And suhu TINGGI THEN frekuensi BESAR;

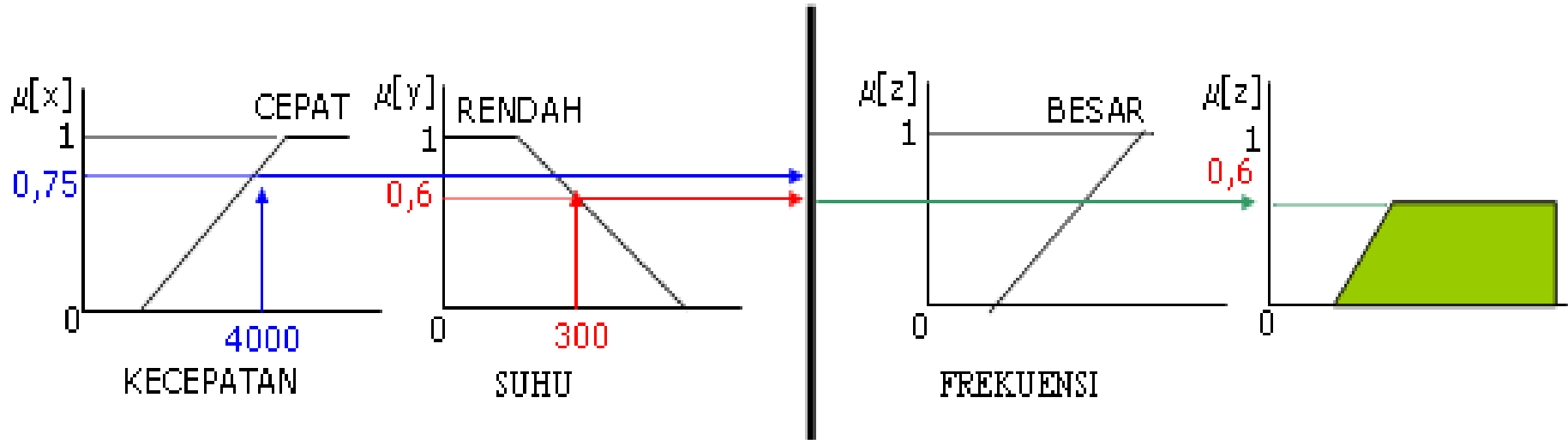
$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat3} &= \mu_{\text{CEPAT}} \cap \mu_{\text{TINGGI}} \\ &= \min(\mu_{\text{CEPAT}}[4000], \mu_{\text{TINGGI}}[300]) \\ &= \min(0,75; 0,4) \\ &= 0,4\end{aligned}$$



Metode Mamdani (Inferensi)

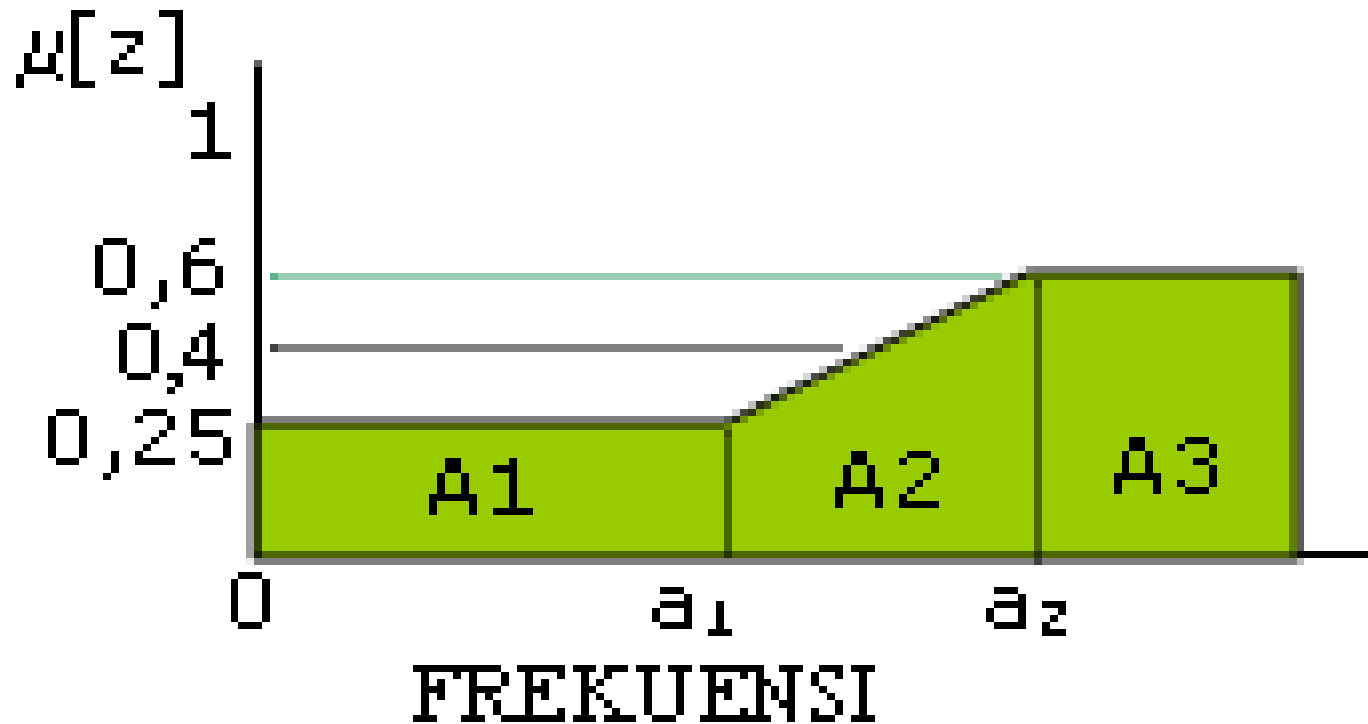
[R4] IF kecepatan CEPAT And suhu RENDAH THEN frekuensi BESAR;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat4} &= \mu_{\text{CEPAT}} \cap \mu_{\text{RENDAH}} \\ &= \min(\mu_{\text{CEPAT}}[4000], \mu_{\text{RENDAH}}[300]) \\ &= \min(0,75; 0,6) \\ &= 0,6\end{aligned}$$



Metode Mamdani (Inferensi)

Komposisi rule menggunakan fungsi max



Metode Mamdani (Inferensi)

Kemudian daerah hasil komposisi kita bagi menjadi 3 bagian, yaitu A1, A2, dan A3, sehingga menjadi himpunan fuzzy baru. Cari nilai a1 dan a2.

$$(a1 - 2000)/5000 = 0,25 \quad \text{--->} \quad a1 = 3250$$

$$(a2 - 2000)/5000 = 0,60 \quad \text{--->} \quad a2 = 5000$$

Dengan demikian, fungsi keanggotaan untuk himpunan fuzzy baru adalah:

$$\mu[z] = \begin{cases} 0,25; & z \leq 3250 \\ (z - 2000) / 5000; & 3250 \leq z \leq 5000 \\ 0,6; & z \geq 5000 \end{cases}$$

Metode Mamdani (Defuzzyfikasi)

Pada tahap ini digunakan metode Centroid (Titik Tengah)

$$z^* = \frac{\int \mu(z)zdz}{\int \mu(z)dz}$$

$$z^* = \frac{\int_0^{3250} 0,25zdz + \int_{3250}^{5000} \frac{(z - 2000)}{5000} zdz + \int_{5000}^{7000} 0,6zdz}{\int_0^{3250} 0,25dz + \int_{3250}^{5000} \frac{(z - 2000)}{5000} dz + \int_{5000}^{7000} 0,6dz}$$

$$z^* = \frac{1320312,5 + 3187515,625 + 7200000}{812,5 + 743,75 + 1200}$$

$$z^* = 4247,74$$

Metode Sugeno (fuzzifikasi)

Sudah dikerjakan

Metode Sugeno (Inferensi)

[R1] IF kecepatan LAMBAT And suhu TINGGI THEN
frekuensi = $0,5 * \text{kecepatan} + 1700$;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat1} &= \mu_{\text{LAMBAT}} \cap \mu_{\text{TINGGI}} \\ &= \min(\mu_{\text{LAMBAT}}[4000], \mu_{\text{TINGGI}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,4) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Nilai z1:

$$\begin{aligned}z1 &= 0,5 * 4000 + 1700 \\ &= 2000 + 1700 \\ &= 3700\end{aligned}$$

Metode Sugeno (Inferensi)

[R2] IF kecepatan LAMBAT And suhu RENDAH THEN
frekuensi = $2 * \text{kecepatan} - 4000$;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat2} &= \mu_{\text{LAMBAT}} \cap \mu_{\text{RENDAH}} \\ &= \min(\mu_{\text{LAMBAT}}[4000], \mu_{\text{RENDAH}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,6) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Nilai z2:

$$\begin{aligned}z2 &= 2 * 4000 - 4000 \\ &= 4000\end{aligned}$$

Metode Sugeno (Inferensi)

[R3] IF kecepatan CEPAT And suhu TINGGI THEN
frekuensi = $0,5 * \text{kecepatan} + 2000$;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat3} &= \mu_{\text{CEPAT}} \cap \mu_{\text{TINGGI}} \\ &= \min(\mu_{\text{CEPAT}}[4000], \mu_{\text{TINGGI}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,6) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Nilai z3:

$$\begin{aligned}z3 &= 0,5 * 4000 + 2000 \\ &= 4000\end{aligned}$$

Metode Sugeno (Inferensi)

[R4] IF kecepatan CEPAT And suhu RENDAH THEN
frekuensi = kecepatan + 700;

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat4} &= \mu_{\text{CEPAT}} \cap \mu_{\text{RENDAH}} \\ &= \min(\mu_{\text{CEPAT}}[4000], \mu_{\text{RENDAH}}[300]) \\ &= \min(0,25; 0,6) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Nilai z4:

$$\begin{aligned}z4 &= 4000 + 700 \\ &= 4700\end{aligned}$$

Metode Sugeno (Defuzzifikasi)

Nilai z dicari dengan persamaan berikut :

$$z = \frac{\alpha_{pred_1} * z_1 + \alpha_{pred_2} * z_2 + \alpha_{pred_3} * z_3 + \alpha_{pred_4} * z_4}{\alpha_{pred_1} + \alpha_{pred_2} + \alpha_{pred_3} + \alpha_{pred_4}}$$

$$z = \frac{0,25 * 3700 + 0,25 * 4000 + 0,4 * 4000 + 0,6 * 4700}{0,25 + 0,25 + 0,4 + 0,6} = \frac{6345}{1,5} = 4230$$

Jadi sumber frekuensi putar kipas angin yang dihasilkan sistem kontrol haruslah 4230 rpm.

Basis Data menggunakan Fuzzy

Basis data konvensional

Tabel 5.1 Data Mahasiswa Calon Penerima Beasiswa

NIM	Nama	TOEFL	IPK	Pengh.Ortu
01	Toyes	450	4	750.000
02	Bowo	480	3	1.500.000
03	Erna	360	3	1.255.000
04	Astuti	270	2	1.040.000
05	Yuni	420	4	950.000
06	Heribertus	390	4	1.600.000
07	Edy	370	3	1.250.000
08	Usman	255	3	550.000
09	Pujiono	325	2	735.000
10	Slamet	250	1	860.000

Basis Data menggunakan Fuzzy

Basis data konvensional

Query untuk menampilkan nama-nama mahasiswa yang nilai TOEFL-nya lebih dari 350 ?

```
SELECT NAMA, TOEFL  
FROM MAHASISWA  
WHERE (Toefl > 350)
```

Tabel 5.2 Data Mahasiswa TOEFL > 350

Nama	TOEFL
Toyes	450
Bowo	480
Erna	360
Yuni	420
Heribertus	390
Edy	370

Basis Data menggunakan Fuzzy

Basis data konvensional

Query untuk menampilkan nama-nama mahasiswa yang penghasilan orangtuanya kurang dari 1 juta rupiah,

```
SELECT NAMA, PENGHASILAN  
FROM MAHASISWA  
WHERE (Penghasilan < 1000000)
```

Nama	Pengh.Ortu
Toyes	750.000
Yuni	950.000
Usman	550.000
Pujiono	735.000
Slamet	860.000

Basis Data menggunakan Fuzzy

Basis data konvensional

Query untuk menampilkan nama-nama mahasiswa yang nilai $IPK > 2$.

```
SELECT NAMA, IPK  
FROM MAHASISWA  
WHERE (IPK > 2)
```

Tabel 5.4 Data Mahasiswa $IPK > 2$

Nama	IPK
Toyes	4
Bowo	3
Erna	3
Yuni	4
Heribertus	4
Edy	3
Usman	3

Basis Data menggunakan Fuzzy

Basis data konvensional

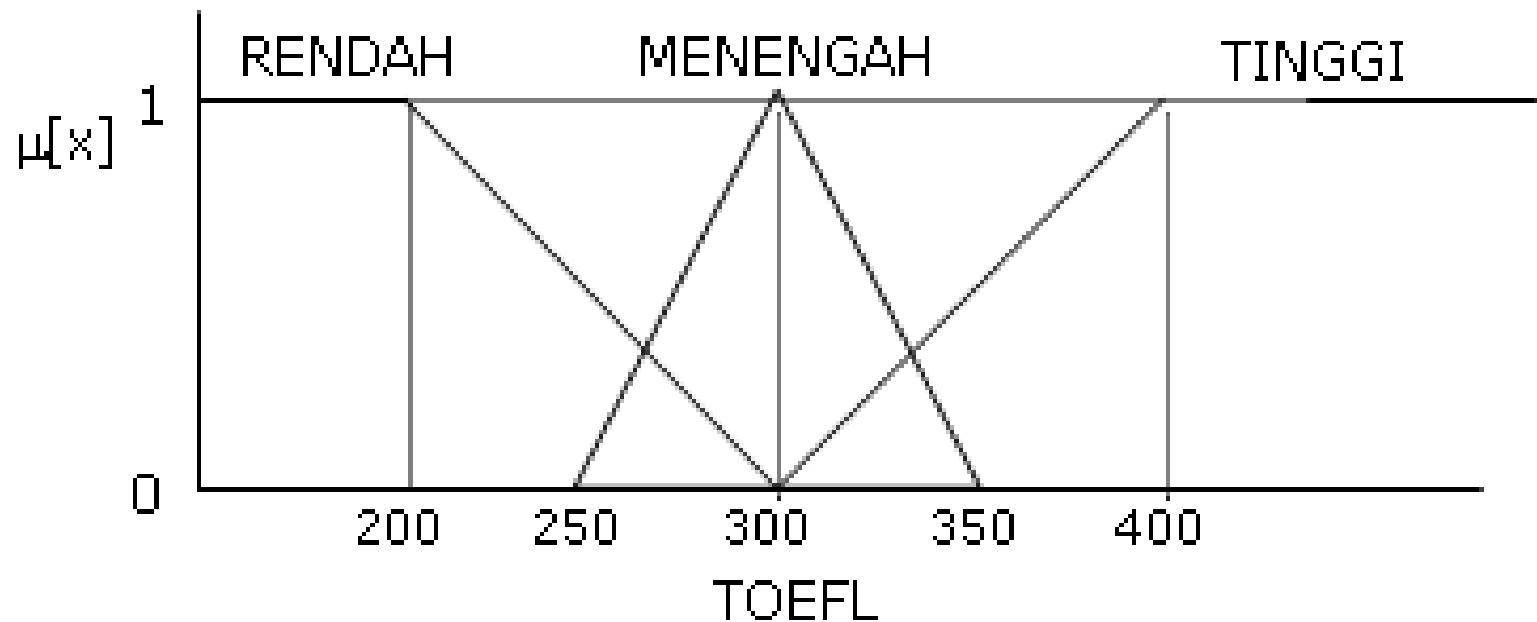
Bagaimana jika syarat penerima beasiswa di POLINES adalah mahasiswa yang nilai IPK-nya BAGUS, nilai TOEFL-nya TINGGI dan penghasilan orang tuanya SEDIKIT. Bagaimana bentuk query-nya ?

Basis Data menggunakan Fuzzy

Basis data Fuzzy

nilai TOEFL dibagi ke dalam himpunan:

RENDAH, MENENGAH, dan TINGGI



Basis Data Fuzzy

$$\mu_{RENDAH}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 200 \\ \frac{300 - x}{100}; & 200 \leq x \leq 300 \\ 0; & x \geq 300 \end{cases}$$

$$\mu_{MENENGAH}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 250 \text{ atau } x \geq 350 \\ \frac{x - 250}{50}; & 250 \leq x \leq 300 \\ \frac{350 - x}{50}; & 300 \leq x \leq 350 \end{cases}$$

$$\mu_{TINGGI}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 300 \\ \frac{x - 300}{100}; & 300 \leq x \leq 400 \\ 1; & x \geq 400 \end{cases}$$

Basis Data Fuzzy

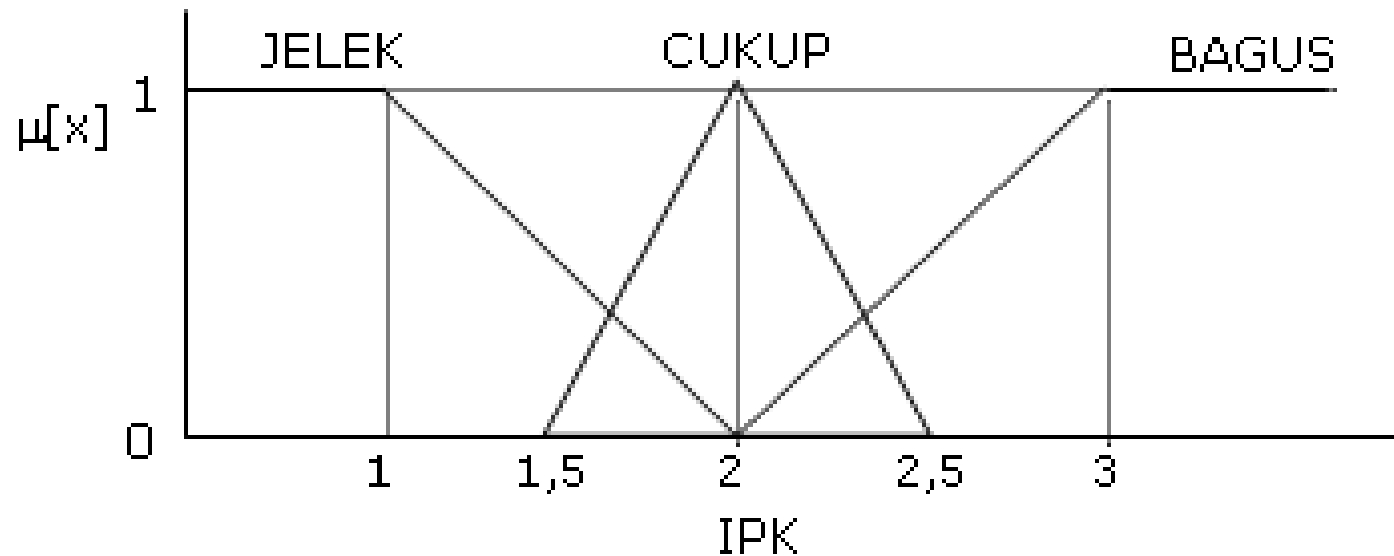
mahasiswa berdasarkan nilai TOEFL dengan derajat keanggotannya pada setiap himpunan.

NIM	Nama	TOEFL	Derajat Keanggotaan ($\mu[x]$)		
			RENDAH	MENENGAH	TINGGI
01	Toyes	450	0	0	1
02	Bowo	480	0	0	1
03	Erna	360	0	0	0,6
04	Astuti	270	0,3	0,4	0
05	Yuni	420	0	0	1
06	Heribertus	390	0	0	0,9
07	Edy	370	0	0	0,7
08	Usman	255	0,45	0,1	0
09	Pujiono	325	0	0,5	0,5
10	Slamet	250	0,5	0	0

Basis Data Fuzzy

nilai IPK diatas ke dalam himpunan:

JELEK, CUKUP, dan BAGUS



Basis Data Fuzzy

$$\mu_{JELEK}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 1 \\ 2 - x; & 1 \leq x \leq 2 \\ 0; & x \geq 2 \end{cases}$$

$$\mu_{CUKUP}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 1,5 \text{ atau } x \geq 2,5 \\ \frac{x - 1,5}{0,5}; & 1,5 \leq x \leq 2 \\ \frac{2,5 - x}{0,5}; & 2 \leq x \leq 2,5 \end{cases}$$

$$\mu_{BAGUS}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 2 \\ x - 2; & 2 \leq x \leq 3 \\ 1; & x \geq 3 \end{cases}$$

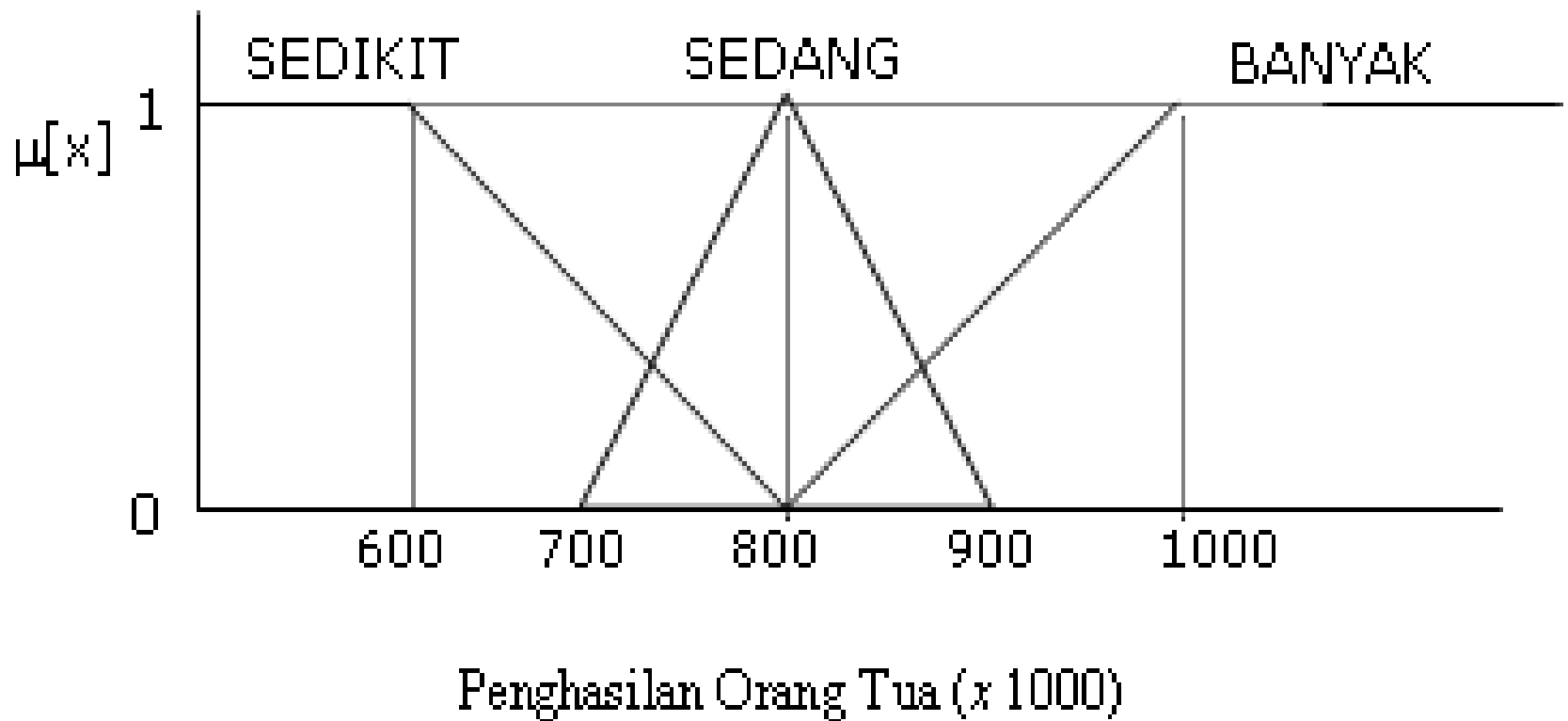
Basis Data Fuzzy

tabel mahasiswa berdasarkan nilai IPK dengan derajat keanggotannya pada setiap himpunan.

NIM	Nama	IPK	Derajat Keanggotaan ($\mu[x]$)		
			JELEK	CUKUP	BAGUS
01	Toyes	4	0	0	1
02	Bowo	3	0	0	1
03	Erna	3	0	0	1
04	Astuti	2	0	1	0
05	<u>Yuni</u>	4	0	0	1
06	<u>Heribertus</u>	4	0	0	1
07	<u>Edy</u>	3	0	0	1
08	<u>Usman</u>	3	0	0	1
09	<u>Pujiono</u>	2	0	1	0
10	<u>Slamet</u>	1	1	0	0

Basis Data Fuzzy

nilai penghasilan orangtua diatas ke dalam himpunan:
SEDIKIT, SEDANG, dan BANYAK



Basis Data Fuzzy

$$\mu_{SEDIKIT}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 600 \\ \frac{800 - x}{200}; & 600 \leq x \leq 800 \\ 0; & x \geq 800 \end{cases}$$

$$\mu_{SEDANG}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 700 \text{ atau } x \geq 900 \\ \frac{x - 700}{100}; & 700 \leq x \leq 800 \\ \frac{900 - x}{100}; & 800 \leq x \leq 900 \end{cases}$$

$$\mu_{BANYAK}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 800 \\ \frac{x - 800}{200}; & 800 \leq x \leq 1000 \\ 1; & x \geq 1000 \end{cases}$$

Basis Data Fuzzy

penghasilan orangtua dengan derajat keanggotannya pada setiap himpunan.

NIM	Nama	Penghasilan	Derajat Keanggotaan ($\mu[x]$)		
		orangtua	SEDIKIT	SEDANG	BANYAK
01	Toyes	750.000	0,25	0,5	0
02	Bowo	1.500.000	0	0	1
03	Erna	1.255.000	0	0	1
04	Astuti	1.040.000	0	0	1
05	Yuni	950.000	0	0	0,75
06	Heribertus	1.600.000	0	0	1
07	Edy	1.250.000	0	0	1
08	Usman	550.000	1	0	0
09	Pujiono	735.000	0,325	0,35	0
10	Slamet	860.000	0	0,4	0,3

Basis Data Fuzzy

Contoh Query1:

Siapa saja-kah mahasiswa yang nilai TOEFL-nya TINGGI tetapi
IPK-nya CUKUP ?

SELECT NAMA
FROM MAHASISWA
WHERE (Toefl = “TINGGI”) AND (Ipk = “CUKUP”)

Tabel 5.8 Hasil query1.

NIP	NAMA	IPK	TOEFL	Derajat Keanggotaan		
				CUKUP	TINGGI	CUKUP & TINGGI
09	Pujiono	2	325	1	0,5	0,5
01	Toyes	4	450	0	1	0
02	Bowo	3	480	0	1	0
03	Erna	3	360	0	0,6	0
04	Astuti	2	270	1	0	0
05	Yuni	4	420	0	1	0
06	Heribertus	4	390	0	0,9	0
07	Edy	3	370	0	0,7	0
08	Usman	3	255	0	0	0
10	Slamet	1	250	0	0	0

Basis Data Fuzzy

Query2:

Siapa saja-kah mahasiswa yang nilai TOEFL-nya RENDAH tetapi
IPK-nya BAGUS ?

**SELECT NAMA
FROM MAHASISWA
WHERE (Toefl = “RENDAH”) AND (Ipk = “BAGUS”)**

Tabel 5.9 Hasil query2.

NIP	NAMA	IPK	TOEFL	Derajat Keanggotaan		
				BAGUS	RENDAH	BAGUS & RENDAH
08	Usman	3	255	1	0,45	0,45
01	Toyes	4	450	1	0	0
02	Bowo	3	480	1	0	0
03	Erna	3	360	1	0	0
04	Astuti	2	270	0	0,3	0
05	<u>Yuni</u>	4	420	1	0	0
06	<u>Heribertus</u>	4	390	1	0	0
07	<u>Edy</u>	3	370	1	0	0
09	<u>Pujiono</u>	2	325	0	0	0
10	<u>Slamet</u>	1	250	0	0,5	0

Basis Data Fuzzy

Query3:

Siapa saja-kah mahasiswa yang nilai TOEFL-nya TINGGI tetapi penghasilan orangtuanya SEDIKIT ?

**SELECT NAMA
FROM MAHASISWA
WHERE (Toefl = “TINGGI”) AND (Peng = “SEDIKIT”)**

Tabel 5.10 Hasil query3

NIP	NAMA	Penghasilan orangtua	TOEFL	Derajat Keanggotaan		
				SEDIKIT	TINGGI	BAGUS & RENDAH
01	Toyes	750.000	450	0,25	1	0,2 5
09	Pujiono	735.000	325	0,325	0,5	0,325
02	Bowo	1.500.000	480	0	1	0
03	Erna	1.255.000	360	0	0,6	0
04	Astuti	1.040.000	270	0	0	0
05	Yuni	950.000	420	0	1	0
06	Heribertus	1.600.000	390	0	0,9	0
07	Edy	1.250.000	370	0	0,7	0
08	Usman	550.000	255	1	0	0
10	Slamet	860.000	250	0	0	0

Basis Data Fuzzy

Dari data diatas, siapa yang layak menerima beasiswa dari POLINES jika kriteria penerima beasiswa adalah mahasiswa yang nilai **IPK-nya BAGUS**, nilai **TOEFL-nya TINGGI** dan penghasilan orang tuanya **SEDIKIT** ?

Query4:

```
SELECT NAMA  
FROM MAHASISWA  
WHERE (Toefl = "TINGGI") AND (Peng = "SEDIKIT") AND (Ipk = "BAGUS")
```

Basis Data Fuzzy

Tabel 5.11: Hasil query4

NIM	Nama	Derajat Keanggotaan $\mu(x)$			
		Toefl TINGGI	Penghasila n SEDIKIT	Ipk BAGUS	kriteria penerima beasiswa TINGGI & SEDIKIT & BAGUS
01	Toyes	1	0,25	1	0,25
02	Bowo	1	0	1	0
03	Erna	0,6	0	1	0
04	Astuti	0	0	0	0
05	Yuni	1	0	1	0
06	Heribertus	0,9	0	1	0
07	Edy	0,7	0	1	0
08	Usman	0	1	1	0
09	Pujiono	0,5	0,325	0	0
10	Slamet	0	0	0	0

Berdasarkan kriteria penerima beasiswa, maka mahasiswa yang berhak menerima beasiswa POLINES adalah Toyes.

Soal - 1

PT. Kalang Kabut International yang memproduksi Tahu-Gimbal rata-rata menerima permintaan dari negara Belanda sekitar 45000 bungkus Tahu-Gimbal per hari. Dan secara statistic, dalam 5 bulan terakhir permintaan tertinggi dari Amerika sebesar 75000 bungkus Tahu-Gimbal per hari. Untuk kebutuhan persediaan, Tahu-Gimbal yang masih tersedia di Gudang setiap harinya rata-rata 7000 bungkus, walaupun kapasitas Gudang maksimum hanya dapat menampung 13000 bungkus. Sayangnya sampai saat ini perusahaan baru mampu memproduksi Tahu-Gimbal paling banyak 100,000 bungkus per hari. Dan demi efisiensi mesin dan SDM, perusahaan diharapkan tiap hari memproduksi paling sedikit 15,000 bungkus. Apabila PT. Kalang Kabut International menggunakan sistem produksi sesuai aturan fuzzy berikut:

[R1] : IF permintaan TURUN AND persediaan BANYAK THEN produksi BERKURANG

[R2] : IF permintaan NAIK AND persediaan SEDIKIT THEN produksi BERTAMBAH

[R3] : IF permintaan NAIK AND persediaan BANYAK THEN produksi BERTAMBAH

[R4] : IF permintaan TURUN AND persediaan SEDIKIT THEN produksi BERKURANG

Tentukanlah menggunakan metode Tsukamoto berapa bungkus Tahu-Gimbal per hari yang harus diproduksi hari ini, jika ada permintaan dari Australia sebanyak 60,000 bungkus dan persediaan yang masih ada di Gudang sebanyak 8,000 bungkus?

Soal - 2

PT. Kalang Kabut International yang memproduksi Tahu-Gimbal pada 5 bulan terakhir biaya produksi Tahu-Gimbal rata-rata sekitar Rp 500 per bungkus dan paling banyak mencapai Rp 1000 per bungkus. Setiap hari perusahaan menerima permintaan dari Belanda rata-rata mencapai 30000 bungkus dan tidak pernah melebihi 60000 bungkus per hari. Sampai saat ini perusahaan baru mampu memproduksi paling banyak 100.000 bungkus Tahu-Gimbal per hari, demi efisiensi mesin dan SDM. Agar diperoleh cita rasa masakan Tahu-Gimbal yang berkualitas tinggi, dalam sistem produksinya PT. Kalang Kabut International menggunakan aturan fuzzy sebagai berikut.

[R1] : IF biaya produksi RENDAH AND permintaan NAIK THEN produksi BERTAMBAH

[R2] : IF biaya produksi sesuai STANDAR THEN produksi NORMAL

[R3] : IF biaya produksi TINGGI AND permintaan TURUN THEN produksi BERKURANG

Tentukanlah menggunakan metode Mamdani jumlah Tahu-Gimbal yang harus diproduksi jika biaya untuk memproduksi Tahu-Gimbal tersebut diperkirakan sejumlah Rp 800 per bungkus, dan ada permintaan dari Korea yang diperkirakan mencapai 25000 bungkus per hari.

Soal - 3

PT. Kalang Kabut International setiap harinya menerima permintaan dari Inggris sekitar 55000 bungkus Tahu-Gimbal per hari. Dalam 4 bulan terakhir permintaan paling banyak dilakukan oleh Jepang, sebesar 75000 bungkus Tahu-Gimbal per hari. Tahu-Gimbal yang tersedia di Gudang setiap harinya rata-rata 7000 bungkus dan Gudang hanya mampu menampung tidak lebih dari 13000 bungkus. Untuk memproduksi Tahu-Gimbal sehingga rasanya menjadi TOP-MARKOTOP, PT. Kalang Kabut International menggunakan aturan fuzzy sebagai berikut:

[R1] : IF permintaan TURUN AND persediaan BANYAK THEN produksi = $2 * \text{permintaan} - 110.000$

[R2] : IF permintaan NAIK AND persediaan SEDIKIT THEN produksi = $\text{permintaan} + 7000$

[R3] : IF permintaan NAIK AND persediaan BANYAK THEN produksi = $\text{permintaan} - \text{persediaan}$

Tentukanlah menggunakan metode Sugeno jumlah Tahu-Gimbal yang harus diproduksi hari ini jika ada permintaan dari Italia sebanyak 60000 bungkus dan persediaan yang masih ada di Gudang sebanyak 8000 bungkus