

Magic Book Fuzzy Logic

Using Augmented Reality Technology



Panduan modern untuk memahami
konsep dan penerapan fuzzy logic
Politeknik Negeri Jember

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku “Magic Book Fuzzy Logic” ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini dibuat sebagai media pembelajaran interaktif yang bertujuan untuk membantu khususnya mahasiswa Politeknik Negeri Jember dalam memahami konsep dasar hingga implementasi metode fuzzy, khususnya metode fuzzy mamdani.

Perkembangan teknologi digital, khususnya dalam bidang pendidikan, mendorong terciptanya inovasi pembelajaran yang lebih menarik dan interaktif. Oleh karena itu, buku ini dirancang dengan konsep *Magic Book* yang dipadukan dengan teknologi *Augmented Reality (AR)* sehingga pembelajaran menjadi lebih interaktif, modern, dan mudah dipahami. Materi yang disajikan meliputi pengenalan logika fuzzy, himpunan fuzzy, fungsi keanggotaan, proses fuzzifikasi, inferensi, defuzzifikasi, hingga implementasi metode mamdani dalam studi kasus penentuan beasiswa.

Penyusunan buku ini tentu tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan buku ini.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan pengembangan buku ini di masa mendatang.

Semoga buku “Magic Book Fuzzy Logic” ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi media pembelajaran yang menarik dan inovatif bagi para pembaca.

Sidoarjo, 19 Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
Fuzzy Logic I	6
1. Definisi Fuzzy	6
2. Himpunan Fuzzy	7
3. Perbandingan antara Himpunan Klasik dan Himpunan Fuzzy	9
4. Dasar Logika Fuzzy.....	10
5. Proses Sistem Kontrol Logika Fuzzy.....	16
6. Fuzzy Inference System (FIS).....	20
7. Perbedaan Antara Fuzzy Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno	21
8. Operasi Himpunan Fuzzy.....	23
9. Metode Defuzzyfikasi.....	24
Fuzzy Logic II	30
Implementasi Studi Case Metode Fuzzy Mamdani:.....	32
Fuzzy Logic III	47
Implementasi Studi Case Metode Fuzzy Tsukamoto.....	49
Fuzzy Logic IV	53
Implementasi Studi Case Metode Fuzzy Sugeno	54
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik Perbedaan Logika Fuzzy dan Logika Tegas	6
Gambar 2 Himpunan Fuzzy Suhu	9
Gambar 3 Himpunan Klasik suhu	9
Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Linier Naik.....	11
Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Linier Turun	12
Gambar 6 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga	13
Gambar 7 Fungsi Keanggotaan Kurva Trapesium.....	14
Gambar 8 Proses Sistem Kontrol Fuzzy.....	16
Gambar 9 Proses defuzzifikasi	30
Gambar 10 Derajat Keanggotaan Trapesium.....	33
Gambar 11 Beasiswa Is Cukup (0,5)	45
Gambar 12 Beasiswa Is Sedikit (0,47)	45
Gambar 13 Himpunan Nominal Beasiswa	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Variabel Linguistik	32
Tabel 2 Rule Base	37

Fuzzy Logic I

(Definisi dan Pengenalan Metode Fuzzy)

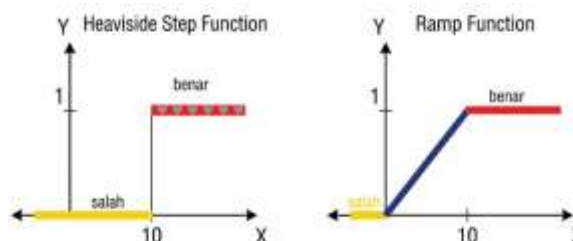
1. Definisi Fuzzy

Fuzzy Logic adalah suatu metodologi untuk pemecahan masalah dengan beribu-ribu aplikasi dalam pengendali yang tersimpan dan pemrosesan informasi (Bachtiar & Algizan, 2019). Fuzzy logic menyediakan cara sederhana untuk menggambarkan kesimpulan pasti dari informasi yang ambigu, samar-samar atau tidak tepat (Bachtiar & Algizan, 2019). Sedikit banyak, fuzzy logic menyerupai pembuatan keputusan pada manusia dengan kemampuannya untuk bekerja dari data yang ditafsirkan dan mencari solusi yang tepat (Nurhasanah & Kurnia, 2025).

Untuk memodelkan pembuatan keputusan seperti manusia tersebut ke dalam sistem komputasi, logika fuzzy meninggalkan pendekatan biner tradisional yang kaku. Jika sistem konvensional hanya mengandalkan dua kondisi mutlak seperti "ya" atau "tidak" (0 atau 1), logika fuzzy mengakomodasi nilai berkelanjutan di rentang 0 hingga 1. Pendekatan ini untuk menerjemahkan variabel linguistik dari bahasa sehari-hari seperti "sedikit panas" ke dalam representasi matematis yang dapat diproses oleh mesin.

Logika fuzzy merupakan sebuah logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (fuzzyness) antara benar dan salah secara bersamaan namun berapa besar kebenaran dan kesalahan suatu nilai tergantung kepada bobot keanggotaan yang dimilikinya (Setia, 2019). Adapun perbedaan logika fuzzy dengan logika tegas adalah:

- logika tegas memiliki nilai tidak = 0,0 dan ya = 1,0
- fuzzy memiliki nilai antara 0,0 hingga 1,0



Gambar 1 Grafik Perbedaan Logika Fuzzy dan Logika Tegas



2. Himpunan Fuzzy

a) *Crisp Set*

Pada himpunan tegas (crisp), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A[x]$, memiliki 2 kemungkinan, yaitu:

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan atau
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

b) *Fuzzy Set*

Pada himpunan crisp, nilai keanggotaan hanya ada 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1, pada himpunan fuzzy nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A[x] = 0$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A , demikian pula apabila x

memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A[x] = 1$ berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A .

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: MUDA, PAROBAYA, TUA.
2. Numerik, suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 40, 25, 50, dsb.

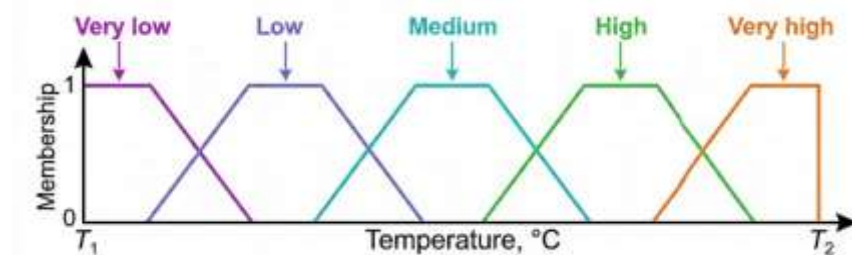
c) *Fuzzy Set Operation*

Fuzzy set operation adalah operasi yang dilakukan pada fuzzy set. Operasi-operasi ini merupakan generalisasi dari operasi crisp set (Studi et al., 2021). Terdapat lebih dari satu generalisasi yang mungkin. Operasi-operasi yang paling banyak digunakan secara luas disebut standard fuzzy set operations. Terdapat tiga operasi yaitu: fuzzy unions, fuzzy intersections, dan fuzzy complements.



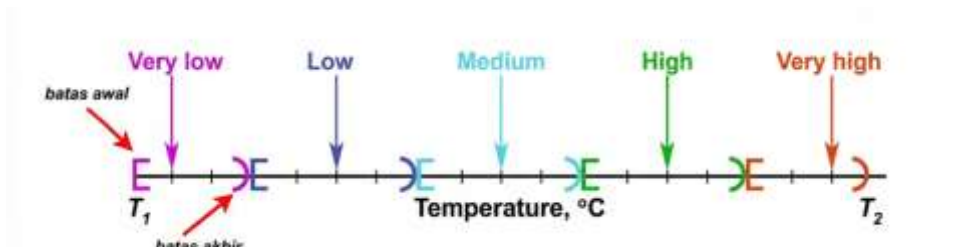
3. Perbandingan antara Himpunan Klasik dan Himpunan Fuzzy

Perbedaan himpunan fuzzy dengan himpunan klasik dapat diilustrasikan pada Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat terlihat himpunan fuzzy memiliki batas yang tidak jelas, sedangkan himpunan klasik memiliki batas yang jelas (Choeszaini, 2023). Pada gambar tanda ')' mengartikan batas akhir dari sebuah scope dan tanda '[' mengartikan batas awal sebuah scope dari himpunan klasik. Rentang suhu yang dinyatakan dalam himpunan fuzzy:



Gambar 2 Himpunan Fuzzy Suhu

Rentang suhu yang dinyatakan dalam himpunan klasik:



Gambar 3 Himpunan Klasik suhu



4. Dasar Logika Fuzzy

- a. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 atau dapat dinyatakan dengan notasi $0 \leq \mu \leq 1$ (Syahputri et al., 2022). Fungsi keanggotaan dapat dinyatakan dengan dua cara yaitu secara numerik dan fungsi.
- b. Domain adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam himpunan *fuzzy*.

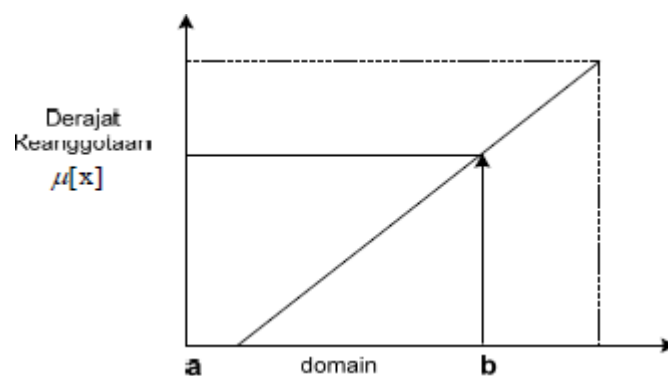


c. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan dalam merepresentasikan fungsi keanggotaan, yaitu:

1) Representasi Linear, ada 2 kemungkinan himpunan *fuzzy linear* yaitu:

- Representasi Linier Naik

Kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.



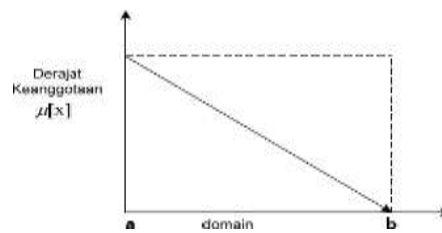
Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Linier Naik

Fungsi Keanggotaan :

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

- Representasi linier turun

Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah.



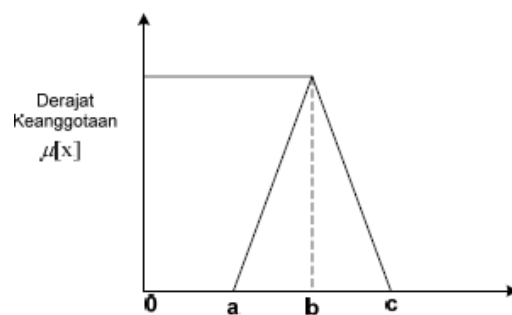
Fungsi Keanggotaan

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

Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Linier Turun



2) Representasi Kurva Segitiga



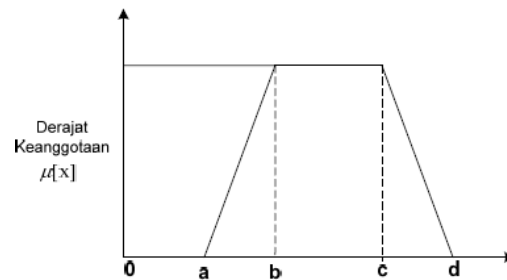
Gambar 6 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan kurva segitiga:

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



3) Representasi Kurva Trapesium



Gambar 7 Fungsi Keanggotaan Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan kurva trapezium:

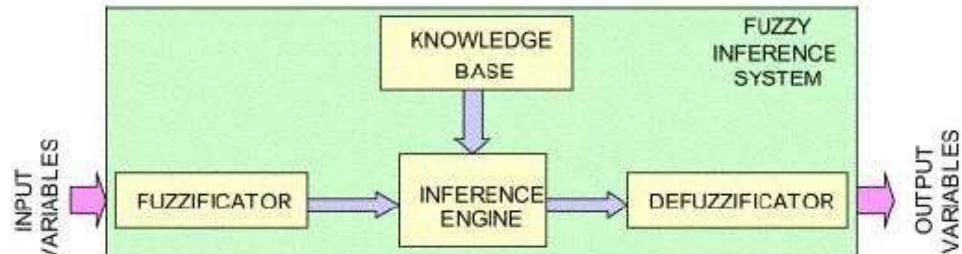
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x - a)/(b - a) & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c) & ; c \leq x \leq d \end{cases}$$



- d. Aritmatika Logika Fuzzy
 - a. Gabungan (*union*)
 - b. Irisan (*intersection*)
 - c. Kesamaan (*equality*)
 - d. Produk (Product)
 - e. Komplemen (*complement*)

5. Proses Sistem Kontrol Logika Fuzzy

Sistem kontrol logika *fuzzy* terdapat beberapa tahapan operasional yang meliputi:

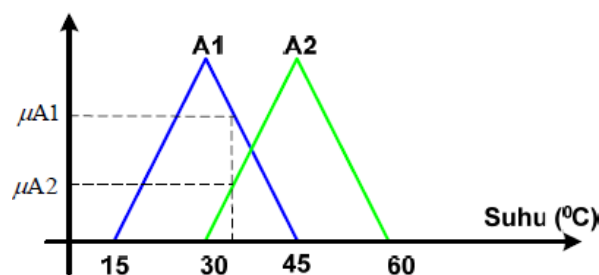


Gambar 8 Proses Sistem Kontrol Fuzzy

a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah suatu proses pengubahan nilai input tegas (crisp input) menjadi nilai fungsi keanggotaan dalam himpunan fuzzy, sehingga data yang semula bersifat pasti dapat direpresentasikan ke dalam bentuk linguistik atau derajat keanggotaan tertentu (Nugroho et al., 2019). Proses ini bertujuan untuk mempermudah sistem fuzzy dalam melakukan pengolahan data dan pengambilan keputusan berdasarkan tingkat keanggotaan suatu nilai terhadap himpunan fuzzy tertentu

(Misal: merujuk pada Gambar berikut, fuzzifikasi dari suhu 35°C.



Yang dipilih adalah kurva segitiga, maka contoh perhitungan fuzzifikasinya yaitu:

$$\mu_{A_1} = \frac{c - x}{c - b} = \frac{45 - 35}{45 - 30} = \frac{2}{3}$$

$$\mu_{A_2} = \frac{x - a}{b - a} = \frac{35 - 30}{45 - 30} = \frac{1}{3}$$



b. Aturan Dasar (*rule base*)

Aturan dasar fuzzy terdiri atas satu set aturan if-then fuzzy, di mana dasar aturan ini merupakan inti dari sistem fuzzy yang merupakan sensor terhadap semua komponen lain yang digunakan untuk menerapkan suatu aturan yang memiliki alasan mendasar dan efisien. Hal penting yang harus dipertimbangkan dalam membangun sebuah dasar aturan fuzzy untuk sistem fuzzy maupun kontrol fuzzy:

- 1) Variabel input dan output, pemilihan variabel input dan output yang tepat sangat menentukan kinerja dari model sistem yang akan dibuat.
- 2) Jangkauan nilai linguistik, nilai linguistik berhubungan dengan fungsi keanggotaan dari data. Untuk menghasilkan nilai batas linguistik yang tepat, maka dibutuhkan proses pengaturan sehingga dapat dihasilkan kinerja model sistem yang baik.
- 3) Penurunan aturan fuzzy, beberapa faktor yang sangat membantu

ketika menurunkan suatu dasar aturan fuzzy, yaitu:

- a. Pengalaman atau pengetahuan
- b. Model fuzzy
- c. Model matematika

Interpretasi aturan implikasi fuzzy:

- a. Fungsi implikasi adalah fungsi yang menyatakan hubungan akibat dari penerapan aturan *if-then* (jika-maka).
- b. Fungsi implikasi dalam matematika biasanya dinotasikan dengan (jika p maka q).

Metode untuk menentukan fungsi implikasi dalam sistem dan kontrol fuzzy:

- a. Implikasi Dienes-Rescher
- b. Implikasi Lukasiewicz
- c. Implikasi Zadeh
- d. Implikasi Godel
- e. Implikasi Mamdani



c. Penalaran (*inference machine*)

Inference engine adalah prinsip logika fuzzy yang digunakan untuk mengkombinasikan aturan if-then fuzzy dalam suatu dasar aturan fuzzy pada suatu pemetaan fuzzy set pada himpunan *input* dengan fuzzy set pada himpunan *output*. Secara garis besar berdasarkan kombinasi yang digunakan, maka ada dua metode *inference engine*, yaitu:

- 1) *Inference engine* yang menggunakan kombinasi gabungan, berdasarkan dasar aturan individu *inference* dengan menggunakan kombinasi gabungan, maka terdapat dua metode *inference engine* yaitu
 - a. Product Inference Engine
 - b. Minimum Inference Engine
- 2) *Inference engine* yang menggunakan kombinasi irisan. Berdasarkan dasar aturan individu dengan menggunakan kombinasi irisan maka terdapat tiga metode *inference engine*, yaitu:
 - a. Lukasiewicz Inference Engine
 - b. Zadeh Inference Engine
 - c. Dienes-Rescher Inference Engine



d. Defuzzifikasi

Defuzzy adalah suatu mekanisme untuk mengkonversi atau mengubah hasil *output* fuzzy menjadi suatu *output* nonfuzzy yang tegas. *Output* dalam bentuk fuzzy belum dapat hasil yang dapat langsung digunakan. Dalam teori logika fuzzy, terdapat beberapa metode defuzzy yang digunakan, yaitu:

- 1) *Center of Gravity*
- 2) *Center of Average*
- 3) *Bisector*
- 4) MOM (*Mean of Maximum*)
- 5) LOM (*Largest of Maximum*)
- 6) SOM (*Smallest of Maximum*)



6. Fuzzy Inference System (FIS)

FIS merupakan salah satu metode logika fuzzy yang dapat digunakan untuk pengambilan suatu keputusan. Metode ini banyak

digunakan sebagai sistem kontrol karena kemampuan metode ini untuk menggantikan seorang operator dalam mengambil keputusan.

- a. Metode Tsukamoto
- b. Metode Mamdani
- c. Metode Sugeno



7. Perbedaan Antara Fuzzy Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno

Meskipun ketiganya digunakan untuk mengambil keputusan (FIS), perbedaan mendasarnya terletak pada bagaimana mereka memberikan jawaban atau konsekuen di akhir aturan.

- a. Metode Mamdani (Metode Max-Min):

Metode ini paling mirip dengan cara manusia berpikir karena baik input maupun outputnya menggunakan kata-kata (variabel linguistik) seperti "Sedikit", "Cukup", atau "Banyak". Hasil dari setiap aturan berupa daerah fuzzy (himpunan fuzzy). Untuk mendapatkan jawaban akhir, daerah-daerah ini harus digabungkan (komposisi) lalu dicari titik

pusatnya melalui defuzzifikasi yang cukup kompleks. Metode ini sangat umum digunakan pada peralatan elektronik dan IoT seperti Penanak Nasi (Rice Cooker), Mesin Cuci dan AC Inverter.

b. Metode Tsukamoto:

Pada metode ini setiap aturan harus memiliki output yang bersifat monoton (selalu naik atau selalu turun secara konsisten). Berbeda dengan Mamdani, setiap aturan di Tsukamoto langsung menghasilkan nilai tegas (crisp) berdasarkan α -predikat (kekuatan aturan). Hasil akhirnya dihitung menggunakan rata-rata terbobot. Metode ini sering ditemui dalam pengambil keputusan, seperti sistem penentuan kelayakan kredit bank, prediksi jumlah produksi barang dan sistem penilaian kinerja karyawan.

c. Metode Sugeno:

Pada metode ini outputnya tidak menggunakan himpunan fuzzy, melainkan konstanta angka tetap atau persamaan matematika karena outputnya sudah berupa rumus matematika (seperti $z=2x+y$), komputer bisa menghitungnya dengan sangat cepat dan akurat, sehingga sering digunakan untuk sistem kontrol mesin. Metode ini sering digunakan pada otomotif dan robotika seperti sistem pengereman otomatis (ABS) pada Mobil, penyeimbang drone dan lengan robot industri.



8. Operasi Himpunan Fuzzy

Operasi ini adalah "logika penghubung" antar variabel dalam sebuah aturan.

a. Irisan (Intersection / Min):

Digunakan saat Anda menemui kata hubung DAN dalam sebuah aturan. Cara kerja sistem akan memilih nilai minimum di antara variabel yang ada. Misalnya: Jika Gaji Sedikit DAN Nilai Tinggi, maka nilai keanggotaan yang paling kecil yang akan diambil sebagai kekuatan aturan tersebut (α -predikat).

b. Gabungan (Union / Max):

Digunakan saat ada kata hubung ATAU (OR) atau saat menggabungkan hasil dari beberapa aturan yang berbeda. Cara kerja sistem akan memilih nilai terbesar (maksimum).

c. Kesamaan (Equality)

Digunakan untuk menyatakan bahwa dua himpunan fuzzy memiliki nilai yang identik di seluruh domainnya

d. Produk (Product)

Berdasarkan sumber, operasi ini digunakan untuk mencari nilai kebalikan atau derajat ketidakanggotaan dengan rumus $1 - \mu_A(x)$.

e. Komplemen (Complement)

Digunakan untuk melihat interaksi dua himpunan melalui perkalian derajat keanggotaannya ($\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$).



9. Metode Defuzzyfikasi

Defuzzifikasi adalah cara kita mengambil satu angka pasti sebagai keputusan akhir dari kumpulan hasil fuzzy.

a. Center of Gravity (Centroid)

Metode centroid paling sering digunakan pada metode mamdani karena dengan menggunakan metode ini hasil yang dihasilkan sangat stabil dan mempertimbangkan seluruh luas daerah fuzzy yang dihasilkan. Contohnya dalam menentukan nominal beasiswa agar

hasilnya lebih adil berdasarkan seluruh parameter. Secara umum rumus dari metode centroid dapat dituliskan:

1. Versi Kontinue

$$Z^* = \frac{\int_z Z \mu(Z) dz}{\int_z \mu(z) dz}$$

Digunakan ketika :

- a. Variabel keluaran bersifat murni kontinu, seperti pengukuran suhu misal: 25.4°C, 25.5°C, kecepatan putaran motor, atau tekanan fluida.
- b. untuk sistem kontrol yang membutuhkan kehalusan (*smoothness*) dan akurasi nilai yang maksimal tanpa pembulatan.
- c. Untuk fungsi keanggotaan yang mempertahankan bentuk geometrisnya (seperti segitiga, trapesium) setelah melewati tahap implikasi dan agregasi (umumnya pada metode Mamdani).
- d. Untuk implementasi sistem berbasis PC atau server tingkat tinggi di mana beban matematis untuk menghitung integral fungsi tidak menyebabkan masalah jeda waktu.

2. Versi Diskrit

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)}$$

Digunakan ketika :

- a. Mengubah operasi integral menjadi operasi penjumlahan dan perkalian sangat meringankan beban prosesor. Metode ini wajib digunakan pada *embedded system* atau mikrokontroler yang memori dan kecepatan pemrosesannya terbatas.
- b. ketika sistem hanya membutuhkan keluaran pada nilai-nilai yang terpisah secara spesifik (misalnya, level kecepatan kipas: 1, 2, 3, 4, 5) alih-alih rentang tanpa batas.
- c. kurva hasil agregasi terlalu rumit secara bentuk untuk diintegrasikan dengan mudah, pendekatan terbaik adalah memecahnya menjadi beberapa titik sampel regular.

- d. himpunan fuzzy keluaran direpresentasikan sebagai garis tegas tunggal pada titik tertentu di sumbu-x.

b. Center of Average (Rata-rata terbobot)

Metode ini menjadi standar pada metode tsukamoto dan sugeno karena hasil tiap aturan sudah berbentuk angka pasti, sehingga kita tinggal mencari rata-ratanya berdasarkan bobot kekuatan aturan tersebut. Untuk rumus persamaannya :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Contoh implementasinya dalam sistem navigasi robot penghindar rintangan (obstacle avoidance robot). Saat sensor mendeteksi dinding di depan, algoritma dengan cepat menghitung rata-rata terbobot untuk menentukan derajat kemudi (ke kiri atau ke kanan) agar robot dapat segera berbelok tanpa jeda pemrosesan yang lama.

c. Bisector

Metode ini digunakan jika ingin mengambil nilai yang membagi daerah fuzzy menjadi dua bagian yang sama luasnya. Umumnya rumus dari metode ini dapat dituliskan :

$$z_p \text{ sedemikian hingga } \int_{R_1}^p \mu(z) dz = \int_p^{R_n} \mu(z) dz$$

Contoh implemtasi dari metode ini untuk menemukan satu titik tengah pada grafik output agar berat area kiri dan kanan seimbang. Contohnya dalam institusi keuangan dalam menentukan skor persetujuan batas kredit (credit limit) bagi nasabah. Sistem menyeimbangkan pertimbangan antara potensi gagal bayar (area kiri grafik) dan riwayat finansial yang sehat (area kanan grafik), sehingga ditemukan angka limit kredit yang berimbang secara proporsional.

d. MOM (Mean of Maximum)

Metode ini digunakan jika ingin fokus pada hasil-hasil yang memiliki derajat keanggotaan paling tinggi (maksimum), lalu mengambil rata-rata dari nilai-nilai tersebut. Contohnya dalam penggunaan sistem penentuan irigasi air pada lahan pertanian cerdas cerdas (smart farming). Jika sistem menilai bahwa volume air antara 15

liter hingga 20 liter sama-sama optimal untuk kelembapan tanah saat itu, maka MOM akan mengambil keputusan di angka 17,5 liter sebagai titik kompromi terbaik.

e. LOM (Largest of Maximum)

Metode ini berfokus pada nilai terbesar dari sekumpulan data yang memiliki derajat keanggotaan paling tinggi. Cara kerja dari metode ini adalah nilai tegas (crisp) diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Metode ini digunakan ketika hasil inferensi menghasilkan sebuah rentang atau beberapa titik yang semuanya memiliki nilai keanggotaan tertinggi (misal derajat keanggotaannya sama-sama 1.0), maka LOM akan memilih angka yang paling tinggi atau paling kanan dari rentang tersebut sebagai keputusan akhir. Contohnya dalam sistem peringatan dini bendungan atau perancangan struktur anti-gempa. Misalnya, jika algoritma menghasilkan rekomendasi ketebalan beton ekstra antara 10 cm hingga 15 cm untuk menahan suatu beban maksimum, pendekatan LOM akan memastikan sistem memilih angka 15 cm demi keamanan mutlak.

f. SOM (Smallest of Maximum)

Metode ini kebalikan dari LOM, di mana sistem memilih nilai yang paling kecil. Cara kerja dari metode ini yaitu nilai tegas (crisp) diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. metode ini digunakan saat terdapat lebih dari satu nilai dengan derajat keanggotaan tertinggi. Namun, alih-alih mengambil nilai terbesar, SOM akan memilih angka yang paling rendah atau paling kiri dari kumpulan nilai maksimum tersebut sebagai keputusan akhir. Contohnya dalam sistem pompa infus otomatis di rumah sakit yang menentukan dosis obat minimum yang efektif bagi pasien. Jika rentang dosis 5 mg hingga 8 mg dinilai memiliki kemanjuran maksimal yang sama berdasarkan kondisi fisik pasien saat itu, sistem akan memilih memberikan dosis 5 mg untuk meminimalisasi efek samping pada organ ginjal pasien.

g. FOM (First Of Maximum)

Metode FOM (*First of Maximum*) memiliki konsep yang sangat berkaitan erat dengan SOM, di mana algoritma melakukan pemindaian (*scanning*) pada kurva hasil agregasi dari arah kiri ke kanan atau dari nilai terkecil ke terbesar. Nilai tegas (*crisp*) diperoleh dengan cara mengambil nilai sumbu-x pertama kali yang menyentuh derajat keanggotaan paling tinggi. Metode ini secara eksklusif digunakan pada metode Mamdani karena karakteristiknya yang beroperasi dengan memindai area luasan kurva. Penggunaannya sangat tepat ketika sistem dihadapkan pada rentang nilai keluaran yang sama-sama maksimal, namun membutuhkan eksekusi respon sistem yang paling awal tercapai guna memprioritaskan kecepatan aksi di batas bawah. Contoh penerapannya dapat dilihat pada sistem pengereman darurat otomatis (*Automatic Emergency Braking*). Jika sistem inferensi menyimpulkan bahwa gaya pengereman maksimal yang optimal berada pada rentang tekanan tuas hidrolik antara 30% hingga 50%, pendekatan FOM akan langsung mengambil angka 30% sebagai keputusan akhir agar pengereman maksimal langsung aktif di titik tekanan paling awal tanpa harus menunggu komputasi mencapai titik tengah atau atas.

h. Total Terbobot (Weighted Sum)

Metode Total Terbobot atau Weighted Sum merupakan variasi penyederhanaan dari metode Rata-rata Terbobot yang dirancang khusus untuk memangkas beban komputasi. Secara matematis, rumusnya dapat dituliskan sebagai :

$$z^* = \sum (\alpha_i \times z_i)$$

Cara kerjanya adalah dengan menjumlahkan hasil perkalian antara bobot kekuatan aturan (derajat keanggotaan atau α) dengan nilai tegas keluaran aturan tersebut, tanpa melakukan tahap akhir pembagian. Metode ini digunakan secara eksklusif pada Sistem Inferensi Fuzzy Sugeno, tepatnya ketika total pembobot pada sistem sudah diskalakan sedemikian rupa sehingga nilainya persis sama dengan 1. Karena pembagiannya adalah angka 1, operasi pembagian diabaikan dan

menyisakan perkalian serta penjumlahan saja yang sangat ringan untuk diproses oleh perangkat keras. Contoh implementasinya ada pada sistem pengendali penerbangan micro-drone balap. Mikrokontroler drone harus mengkalkulasi ulang kecepatan putaran baling-baling dalam hitungan milidetik. Dengan menggunakan metode ini, pemotongan operasi pembagian pada komputasi membuat respon pergerakan dan penyesuaian motor drone menjadi jauh lebih instan.



Fuzzy Logic II

(Fuzzy Mamdani dan Implementasi)

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Handoko et al., 2018). Untuk mendapatkan *output*, diperlukan 4 tahapan:

1. Pembentukan himpunan fuzzy

Pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi fungsi implikasi (aturan)

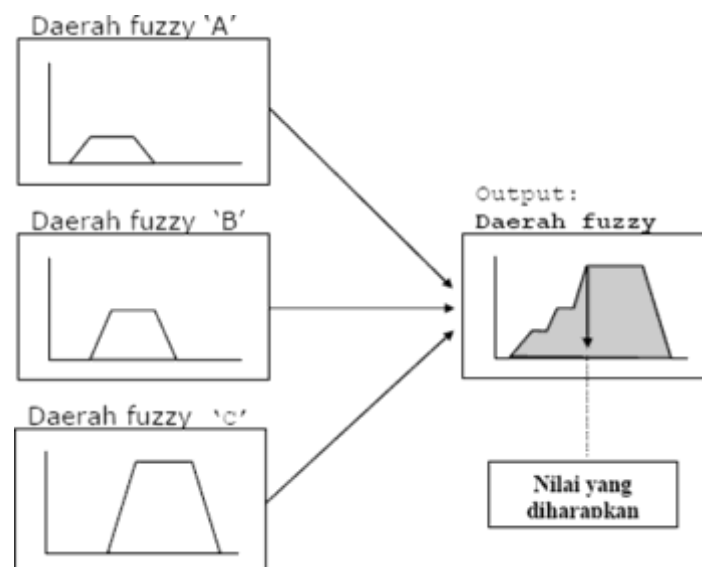
Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.

3. Komposisi aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri atas beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu: max, additive dan probabilistik OR (probor).

4. Penegasan (defuzzy)

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut, sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output



Gambar 9 Proses defuzzifikasi



Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan Mamdani, antara lain:

- a) Metode centroid
- b) Metode bisector
- c) Metode Mean of Maximum (MOM)
- d) Metode Largest of Maximum (LOM)
- e) Metode Smallest of Maximum (SOM)
- f) FOM (First Of Maximum)



Implementasi Studi Case Metode Fuzzy Mamdani:

Berikut contoh studi kasus penentuan penerima beasiswa menggunakan fuzzy logic Mamdani. Crips input adalah nilai dari setiap variabel input yang terdiri dari jumlah gaji orang tua perbulan, jumlah tanggungan orang tua dan rata-rata nilai raport siswa. Himpunan fuzzy ditunjukkan pada tabel.

Tabel 1 Variabel Linguistik

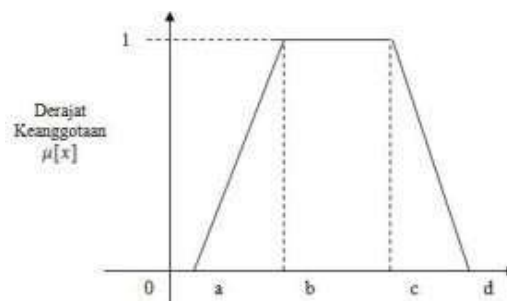
Variabel Linguistik				Satuan Variabel Linguistik
Input	Gaji Orang Tua	Sangat sedikit	0 – 800	Rupiah (dikalikan 1000)
		Sedikit	500 – 1500	
		Cukup	1200 – 3000	
		Banyak	2700 – 5000	
		Sangat banyak	≥ 3500	
	Jumlah Tanggungan Orang Tua	Sedikit	0 – 4	Orang
		Cukup	2 – 8	
		Banyak	≥ 6	
	Rata-rata Nilai Raport	B	2,84 – 3,51	Nilai
		A	3,17 – 4,00	

Output	Nominal Beasiswa Prestasi	Sedikit	0 – 6	Rupiah (dikalikan 100.000)
		Cukup	3 – 12	
		Banyak	9 – 15	

Dari soal diatas anda bisa mencoba untuk mendapatkan pengalaman langsung memasukkan inputan yang telah disediakan untuk mendapatkan hasil melalui QR Code dibawah ini:



Berikut ini merupakan rumus untuk menentukan nilai dari μ (*miu*) atau derajat keanggotaan dari masing-masing variabel yang menggunakan fungsi keanggotaan trapesium



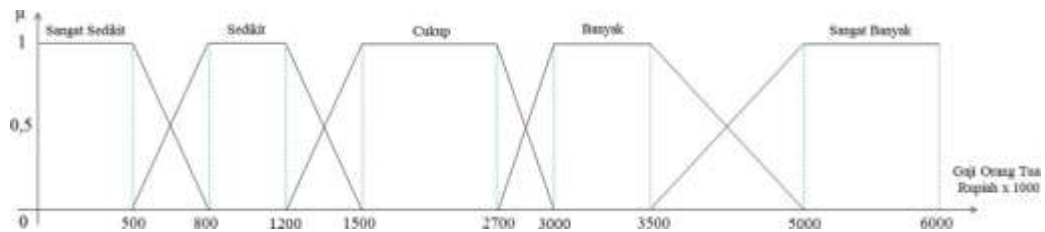
Gambar 10 Derajat Keanggotaan Trapesium

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

1. Fuzzyfication

a. Fuzzyfication Variabel Gaji Orang Tua

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan keanggotaan dari variabel jumlah gaji orang tua per bulannya. Untuk variabel input gaji orang tua dikategorikan dalam himpunan fuzzy sangat sedikit, sedikit, cukup, banyak dan sangat banyak, menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan trapesium, seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini.



Berikut ini merupakan rumus untuk menentukan nilai dari μ (miu) atau derajat keanggotaan dari variabel gaji orang tua yang menggunakan fungsi keanggotaan trapezium

$$\mu_{\text{gajisangatsedikit}}[x] = \begin{cases} 1; & 0 \leq x \leq 500 \\ (800 - x)/(800 - 500); & 500 \leq x \leq 800 \\ 0; & x \geq 800 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{gajisedikit}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 500 \text{ atau } x \geq 1500 \\ (x - 500)/(800 - 500); & 500 \leq x \leq 800 \\ 1; & 800 \leq x \leq 1200 \\ (1500 - x)/(1500 - 1200); & 1200 \leq x \leq 1500 \end{cases}$$

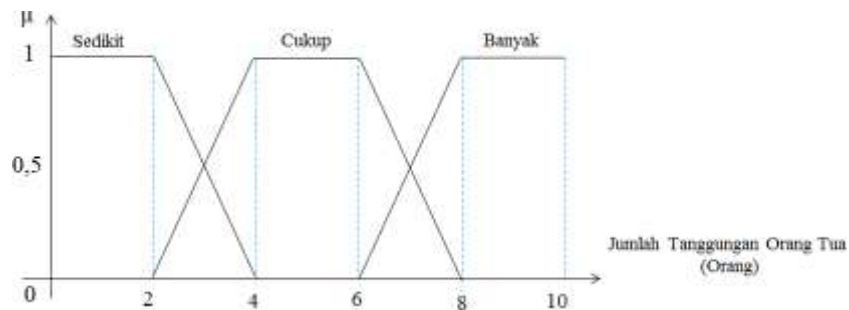
$$\mu_{\text{gajicukup}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 1200 \text{ atau } x \geq 3000 \\ (x - 1200)/(1500 - 1200); & 1200 \leq x \leq 1500 \\ 1; & 1500 \leq x \leq 2700 \\ (3000 - x)/(3000 - 2700); & 2700 \leq x \leq 3000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{gajibanyak}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 2700 \text{ atau } x \geq 5000 \\ (x - 2700)/(3000 - 2700); & 2700 \leq x \leq 3000 \\ 1; & 3000 \leq x \leq 3500 \\ (5000 - x)/(5000 - 3500); & 3500 \leq x \leq 5000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{gajisangatbanyak}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 3500 \\ (x - 3500)/(5000 - 3500); & 3500 \leq x \leq 5000 \\ 1; & x \geq 5000 \end{cases}$$

b. Fuzzyfication Variabel Tanggungan Orang Tua

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan keanggotaan dari variabel jumlah tanggungan orang tua. Untuk variabel input tanggungan orang tua dikategorikan dalam himpunan fuzzy sedikit, cukup, dan banyak, menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan trapesium, seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini.



Berikut ini merupakan rumus untuk menentukan nilai dari μ (miu) atau derajat keanggotaan dari variabel jumlah tanggungan orang tua yang menggunakan fungsi keanggotaan trapesium.

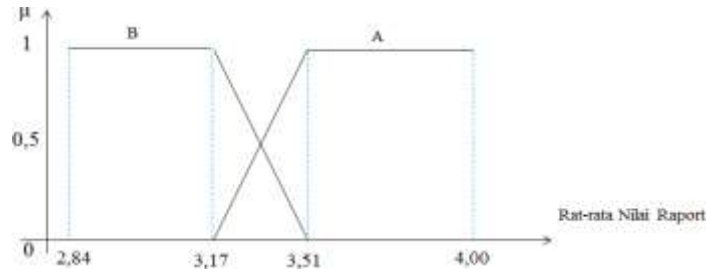
$$\mu_{\text{tanggungsedikit}}[x] = \begin{cases} 1; & 0 \leq x \leq 2 \\ (4 - x)/(4 - 2); & 2 \leq x \leq 4 \\ 0; & x \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tangguncukup}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 2 \text{ atau } x \geq 8 \\ (x - 2)/(4 - 2); & 2 \leq x \leq 4 \\ 1; & 4 \leq x \leq 6 \\ (8 - x)/(8 - 6); & 6 \leq x \leq 8 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tanggunganbanyak}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 6 \\ (x - 6)/(8 - 6); & 6 \leq x \leq 8 \\ 1; & x \geq 8 \end{cases}$$

c. Fuzzyfication Variabel Rata-rata nilai Raport

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan keanggotaan dari variabel rata-rata nilai raport. Untuk variabel input rata-rata nilai raport dikategorikan dalam himpunan fuzzy B dan A, menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan trapesium, seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini.



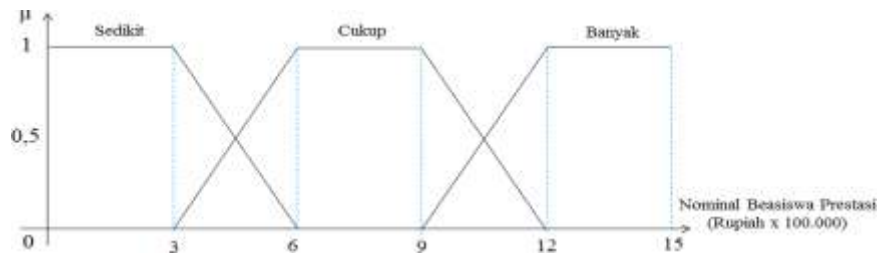
Berikut ini merupakan rumus untuk menentukan nilai dari μ (miu) atau derajat keanggotaan dari variabel rata-rata nilai raport yang menggunakan fungsi keanggotaan trapezium

$$\mu_B[x] = \begin{cases} 1; & 2,84 \leq x \leq 3,17 \\ (3,51 - x)/(3,51 - 3,17); & 3,17 \leq x \leq 3,51 \\ 0; & x \geq 3,51 \end{cases}$$

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 3,17 \\ (x - 3,17)/(3,51 - 3,17); & 3,17 \leq x \leq 3,51 \\ 1; & 3,51 \leq x \leq 4,00 \end{cases}$$

d. Fuzzyfication Variabel Nominal Beasiswa

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan keanggotaan dari variabel nominal beasiswa yang akan didapatkan siswa selama satu semester. Untuk variabel output nominal beasiswa dikategorikan dalam himpunan fuzzy sedikit, cukup dan banyak, menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan trapesium, seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini.



Berikut ini merupakan rumus untuk menentukan nilai dari μ (miu) atau derajat keanggotaan dari variabel jumlah nominal beasiswa yang menggunakan fungsi keanggotaan trapezium

$$\mu_{\text{tanggungansedikit}}[x] = \begin{cases} 1; & 0 \leq x \leq 3 \\ (6 - x)/(6 - 3); & 3 \leq x \leq 6 \\ 0; & x \geq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tanggungancukup}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 3 \text{ atau } x \geq 12 \\ (x - 3)/(6 - 3); & 3 \leq x \leq 6 \\ 1; & 6 \leq x \leq 9 \\ (12 - x)/(12 - 9); & 9 \leq x \leq 12 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tanggunganbanyak}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 9 \\ (x - 9)/(12 - 9); & 9 \leq x \leq 12 \\ 1; & x \geq 12 \end{cases}$$



1. Inference Engine

Inference engine dalam menentukan jumlah nominal beasiswa yang didapatkan siswa dengan variabel input gaji orang tua, tanggungan orang tua, dan rata-rata nilai raport. Terdapat 30 rule yang didapatkan, sebagaimana yang ada pada Tabel.

Tabel 2 Rule Base

No	Gaji Ortu	Tanggungan Ortu	Nilai Raport	Nominal Beasiswa
1	Sangat Sedikit	Sedikit	B	Banyak
2	Sangat Sedikit	Sedikit	A	Banyak
3	Sangat Sedikit	Cukup	B	Banyak
4	Sangat Sedikit	Cukup	A	Banyak
5	Sangat Sedikit	Banyak	B	Banyak

6	Sangat Sedikit	Banyak	A	Banyak
7	Sedikit	Sedikit	B	Cukup
8	Sedikit	Sedikit	A	Cukup
9	Sedikit	Cukup	B	Cukup
10	Sedikit	Cukup	A	Banyak
11	Sedikit	Banyak	B	Banyak
12	Sedikit	Banyak	A	Banyak
13	Cukup	Sedikit	B	Cukup
14	Cukup	Sedikit	A	Cukup
15	Cukup	Cukup	B	Cukup
16	Cukup	Cukup	A	Cukup
17	Cukup	Banyak	B	Cukup
18	Cukup	Banyak	A	Cukup
19	Banyak	Sedikit	B	Cukup
20	Banyak	Sedikit	A	Cukup
21	Banyak	Cukup	B	Cukup
22	Banyak	Cukup	A	Cukup
23	Banyak	Banyak	B	Cukup
24	Banyak	Banyak	A	Cukup
25	Sangat Banyak	Sedikit	B	Sedikit
26	Sangat Banyak	Sedikit	A	Sedikit
27	Sangat Banyak	Cukup	B	Sedikit
28	Sangat Banyak	Cukup	A	Sedikit
29	Sangat Banyak	Banyak	B	Sedikit
30	Sangat Banyak	Banyak	A	Sedikit

[R1] IF gaji is sangat sedikit AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is banyak

[R2] IF gaji is sangat sedikit AND tanggungan is sedikit AND nilai is A THEN beasiswa is banyak

[R3] IF gaji is sangat sedikit AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is banyak

[R4] IF gaji is sangat sedikit AND tanggungan is cukup AND nilai is A THEN beasiswa is banyak

[R5] IF gaji is sangat sedikit AND tanggungan is banyak AND nilai is B THEN beasiswa is banyak

[R6] IF gaji is sangat sedikit AND tanggungan is banyak AND nilai is A THEN beasiswa is banyak

[R7] IF gaji is sedikit AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R8] IF gaji is sedikit AND tanggungan is sedikit AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R9] IF gaji is sedikit AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R10] IF gaji is sedikit AND tanggungan is cukup AND nilai is A THEN beasiswa is banyak

[R11] IF gaji is sedikit AND tanggungan is banyak AND nilai is B THEN beasiswa is banyak

[R12] IF gaji is sedikit AND tanggungan is banyak AND nilai is A THEN beasiswa is banyak

[R13] IF gaji is cukup AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R14] IF gaji is cukup AND tanggungan is sedikit AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R15] IF gaji is cukup AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R16] IF gaji is cukup AND tanggungan is cukup AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R17] IF gaji is cukup AND tanggungan is banyak AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R18] IF gaji is cukup AND tanggungan is banyak AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R19] IF gaji is banyak AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R20] IF gaji is banyak AND tanggungan is sedikit AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R21] IF gaji is banyak AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R22] IF gaji is banyak AND tanggungan is cukup AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R23] IF gaji is banyak AND tanggungan is banyak AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R24] IF gaji is banyak AND tanggungan is banyak AND nilai is A THEN beasiswa is cukup

[R25] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is sedikit

[R26] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is sedikit AND nilai is A THEN beasiswa is sedikit

[R27] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is sedikit

[R28] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is cukup AND nilai is A THEN beasiswa is sedikit

[R29] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is banyak AND nilai is B THEN beasiswa is sedikit

[R30] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is banyak AND nilai is A THEN beasiswa is sedikit

2. Defuzzyfication

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut yang berupa jumlah nominal beasiswa yang didapatkan oleh siswa. Dalam sistem ini yang dipakai adalah metode centroid untuk menghitung nilai crisp dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy.

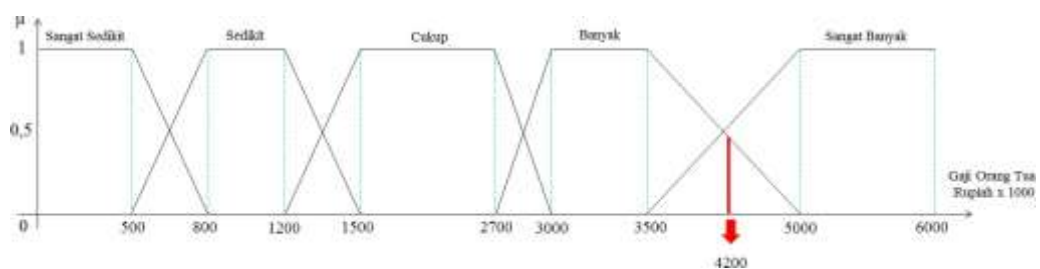


A. Contoh kasus yang dicari:

Seorang siswa memiliki orang tua dengan gaji Rp. 4.200.000 per bulannya, dan orangtuanya memiliki 3 tanggungan di dalam keluarganya, serta rata-rata nilai raport siswa adalah 2,88. Dengan beberapa nilai yang diketahui tersebut akan dihitung jumlah nominal yang akan didapatkan siswa tersebut dalam 1 semester. Sehingga cara penyelesaiannya seperti ini

1. Fuzzyfication

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan nilai derajat keanggotaan dari masing- masing nilai yang diketahui. Fungsi keanggotaan untuk gaji orang tua Rp. 4.200.000 perbulannya ditunjukkan pada Gambar dibawah ini

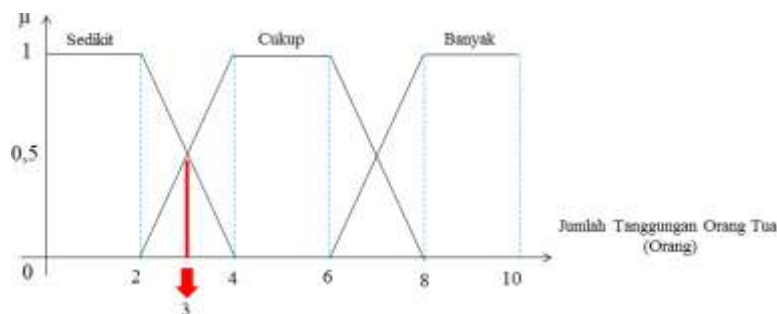


Perhitungan fungsi keanggotaan gaji orang tua Rp. 4.200.000 terletak diantara dua himpunan fuzzy, yaitu banyak dan sangat banyak.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{gajibanyak}}[4200] &= \frac{d - x}{d - c} \\ &= \frac{5000 - 4200}{5000 - 3500} \\ &= \frac{800}{1500} \\ &= 0,53\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{gajisangatbanyak}}[4200] &= \frac{x - a}{b - a} \\ &= \frac{4200 - 3500}{5000 - 3500} \\ &= \frac{700}{1500} \\ &= 0,47\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk jumlah tanggungan orangtua sebanyak 3 orang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.

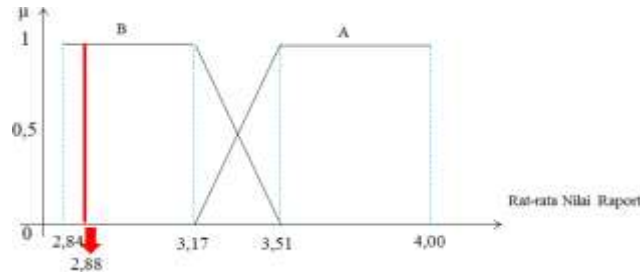


Perhitungan fungsi keanggotaan tanggungan orang tua sebanyak 3 orang terletak diantara dua himpunan fuzzy, yaitu sedikit dan cukup.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{tanggungsedikit}}[3] &= \frac{d - x}{d - c} \\ &= \frac{4 - 3}{4 - 2} \\ &= \frac{1}{2} \\ &= 0,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{tangguncukup}}[3] &= \frac{x - a}{b - a} \\ &= \frac{3 - 2}{4 - 2} \\ &= \frac{1}{2} \\ &= 0,5\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk rata-rata nilai raport 2,88 ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Perhitungan fungsi keanggotaan rata-rata nilai raport adalah 2,88 pada satu himpunan fuzzy, yaitu B.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{nilaib}} [2,88] &= b \leq x \leq c \\ &= 1\end{aligned}$$

2. Inference Rule

Dari 5 data fuzzy input gaji banyak (0,53); gaji sangat banyak (0,47); tanggungan sedikit (0,5); tanggungan cukup (0,5) dan nilai B (1), maka didapatkan 4 aturan dari 30 aturan yang dapat dianlikasikan.

[R19] IF gaji is banyak AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R21] IF gaji is banyak AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is cukup

[R25] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is sedikit AND nilai is B THEN beasiswa is sedikit

[R27] IF gaji is sangat banyak AND tanggungan is cukup AND nilai is B THEN beasiswa is sedikit

Dari keempat aturan fuzzy dan 5 input tersebut, maka proses *inference rule* menggunakan aturan *conjunction* ($\wedge$) dengan memilih derajat keanggotaan minimum, sehingga diperoleh sebagai berikut:

[R19] IF gaji is banyak (0,53) AND tanggungan is sedikit (0,5) AND nilai is B (1) THEN beasiswa is cukup (0,5)

[R21] IF gaji is banyak (0,53) AND tanggungan is cukup (0,5) AND nilai is B (1) THEN beasiswa is cukup (0,5)

[R25] IF gaji is sangat banyak (0,47) AND tanggungan is sedikit (0,5) AND nilai is B (1) THEN beasiswa is sedikit (0,47)

[R27] IF gaji is sangat banyak (0,47) AND tanggungan is cukup (0,5) AND nilai is B (1) THEN beasiswa is sedikit (0,47)

Menentukan nilai α -predikat dengan menggunakan nilai *miu* (μ) minimum.

$$\alpha\text{-predikat1} = \mu \text{ gaji BANYAK} \wedge \mu \text{ tanggungan SEDIKIT} \wedge \mu \text{ nilai B}$$

$$= \min (\mu \text{ gaji BANYAK [4200]}, \mu \text{ tanggungan}$$

$$\text{SEDIKIT [3]}, \mu \text{ nilai B [2,88]})$$

$$= \min (0,53; 0,5; 1)$$

$$= 0,5$$

$$\alpha\text{-predikat2} = \mu \text{ gaji BANYAK} \wedge \mu \text{ tanggungan CUKUP} \wedge \mu \text{ nilai B}$$

$$= \min (\mu \text{ gaji BANYAK [4200]}, \mu \text{ tanggungan}$$

$$\text{CUKUP [3]}, \mu \text{ nilai B [2,88]})$$

$$= \min (0,53; 0,5; 1)$$

$$= 0,5$$

$$\alpha\text{-predikat3} = \mu \text{ gaji SANGAT BANYAK} \wedge \mu \text{ tanggungan SEDIKIT} \wedge \mu \text{ nilai B}$$

$$= \min (\mu \text{ gaji SANGAT BANYAK [4200]}, \mu$$

$$\text{tanggungan SEDIKIT [3]}, \mu \text{ nilai B [2,88]})$$

$$= \min (0,47; 0,5; 1)$$

$$= 0,47$$

$$\alpha\text{-predikat4} = \mu \text{ gaji SANGAT BANYAK} \wedge \mu \text{ tanggungan CUKUP} \wedge \mu \text{ nilai B}$$

$$= \min (\mu \text{ gaji SANGAT BANYAK [4200]}, \mu$$

$$\text{tanggungan CUKUP [3]}, \mu \text{ nilai B [2,88]})$$

$$= \min (0,47; 0,5; 1)$$

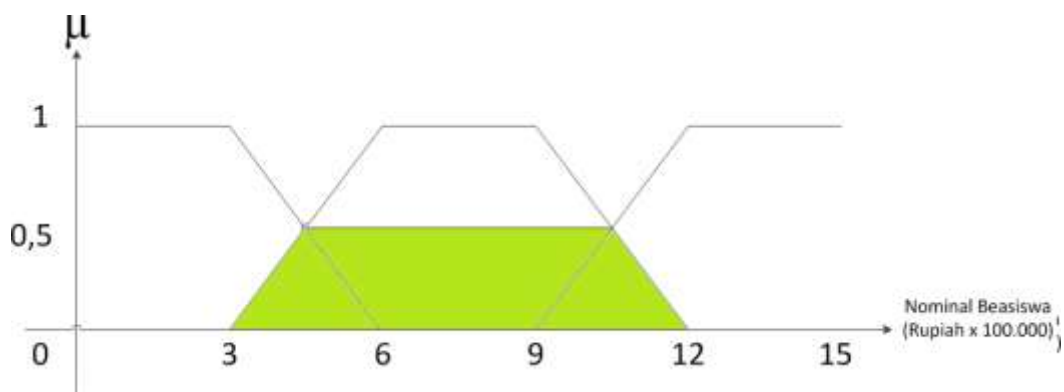
$$= 0,47$$

Menggunakan nilai *disjunction* ($\vee$) dengan memilih derajat keanggotaan

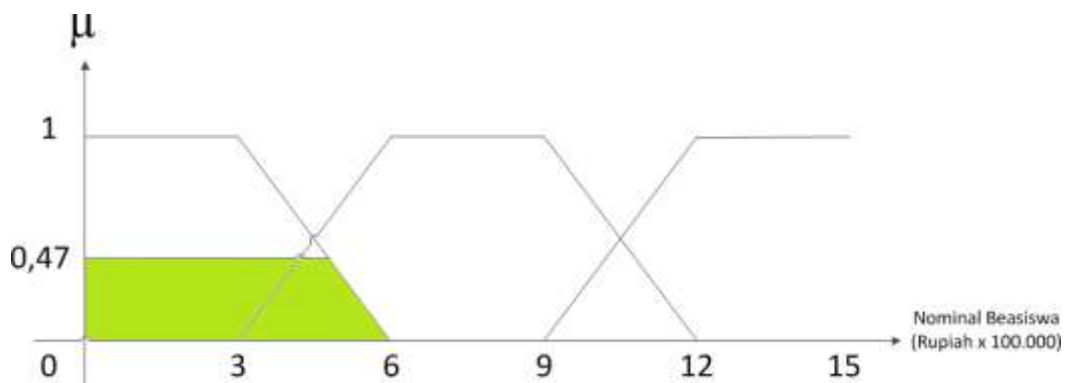
dari nilai maksimum dari linguistik yang dihubungkan oleh ($\vee$) dari beasiswa.

- beasiswa is CUKUP (0,5) $\vee$ beasiswa is CUKUP (0,5)
 $= \max (0,5); (0,5)$
 $= (0,5)$
- beasiswa is SEDIKIT (0,47) $\vee$ beasiswa is SEDIKIT (0,47)
 $= \max (0,47); (0,47)$
 $= (0,47)$

Model Mamdani dalam proses *clipping* menghasilkan 2 daerah



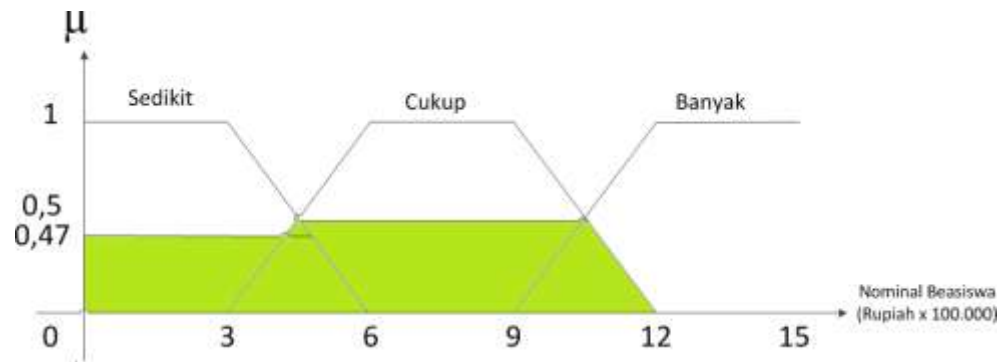
Gambar 11 Beasiswa Is Cukup (0,5)



Gambar 12 Beasiswa Is Sedikit (0,47)

3. Defuzzyfication

Proses composition dari dua fuzzy set, beasiswa is cukup (0,5) dan beasiswa is sedikit (0,5) menghasilkan fuzzy set sebagai berikut.



Gambar 13 Himpunan Nominal Beasiswa

Untuk proses defuzzyfication menggunakan centroid method, dengan menentukan di sembarang titik pada daerah yang diarsir

$$\begin{aligned}
 y^* &= \frac{(0,47)(0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6) + (0,5)(3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12)}{(0,47)(7) + (0,5)(10)} \\
 &= \frac{(0,47)(21) + (0,5)(75)}{(0,47)(7) + (0,5)(10)} \\
 &= \frac{9,87 + 37,5}{3,29 + 5} \\
 &= \frac{47,37}{8,29} \\
 &= 5,71 \times 100.000 \\
 &= 571.000
 \end{aligned}$$

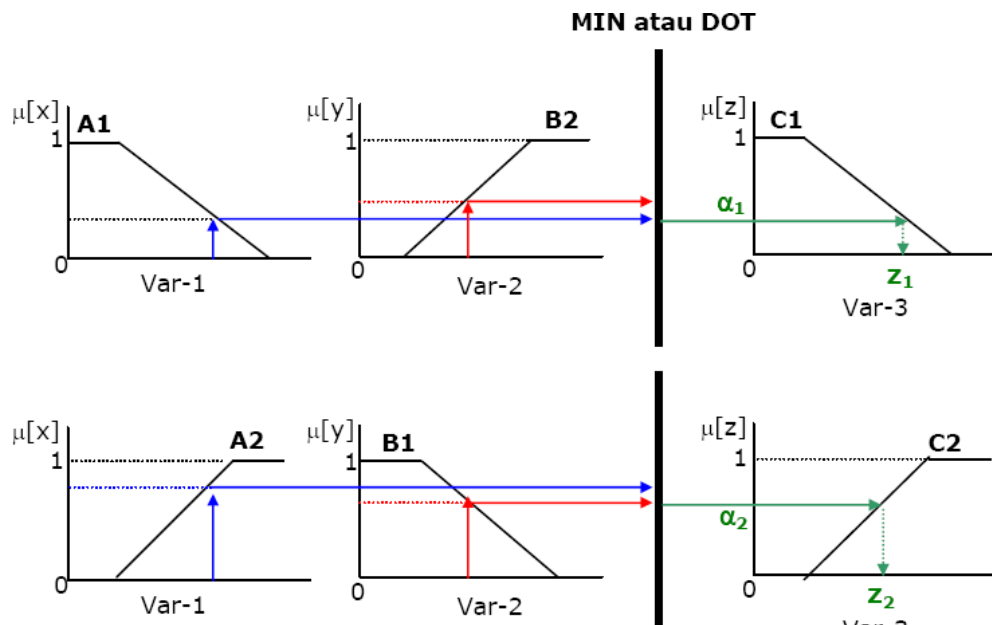
Jadi dengan menggunakan model Mamdani centroid method untuk gaji orang tua Rp. 4.200.000; jumlah tanggungan orang tua 3 orang, dan nilai raport sebesar 2,88, maka beasiswa yang didapatkan adalah sebesar Rp. 571.000.



Fuzzy Logic III

(Fuzzy Tsukamoto dan Implementasi)

Metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-Then harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, output dari hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (crisp) berdasarkan α -predikat (fire strength). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot (Prayogi, 2018).



Gambar 14 Inferensi menggunakan metode Tsukamoto

$$z = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Rata-rata terbobot

Tahapan penyelesaian dalam metode Tsukamoto meliputi:

1. Fuzzifikasi

Proses memetakan nilai masukan tegas (crisp input) ke dalam derajat keanggotaan fuzzy berdasarkan batasan domain himpunannya.

2. Inferensi

Mencari nilai α -predikat dari setiap aturan IF-THEN. Karena menggunakan fungsi keanggotaan yang monoton, pemotongan nilai α -predikat ini akan menghasilkan satu titik nilai tegas. Saat memvisualisasikan penarikan nilai ini ke dalam sebuah animasi grafik, bentuk dasar dan background grafik dibiarkan tetap sama secara statis. Untuk awalan garisnya tidak ada, kemudian garis tersebut ada dan waktu masuk dilengkapi animasi berjalan lurus menempati titik perpotongan pada kurva monoton.

3. Defuzzifikasi

Karena keluaran dari setiap aturan sudah berupa nilai tegas yang terikat dengan bobot predikatnya, hasil akhirnya secara langsung diperoleh dengan menggunakan rumus rata-rata terbobot (weighted average).



Implementasi Studi Case Metode Fuzzy Tsukamoto

Sebuah perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC. Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar hingga mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari. Persediaan barang digudang paling banyak sampai 600 kemasan/hari, dan paling sedikit sampai 100 kemasan/hari. Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimal 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM tiap hari diharapkan perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

Apabila proses produksi perusahaan tersebut menggunakan 4 aturan sebagai berikut:

1. Rule 1
IF permintaan TURUN and persediaan BANYAK THEN produksi barang BERKURANG
2. Rule 2
IF permintaan TURUN and persediaan SEDIKIT THEN produksi barang BERKURANG
3. Rule 3
IF permintaan NAIK and persediaan BANYAK THEN produksi barang BERTAMBAH
4. Rule 4
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 ? (Gunakan fungsi keanggotaan LINEAR)

Penyelesaian:

Ada 3 variabel yang digunakan: PERMINTAAN,
PERSEDIAAN, dan PRODUKSI

PERMINTAAN: 1000 – 5000, $x = 4000$

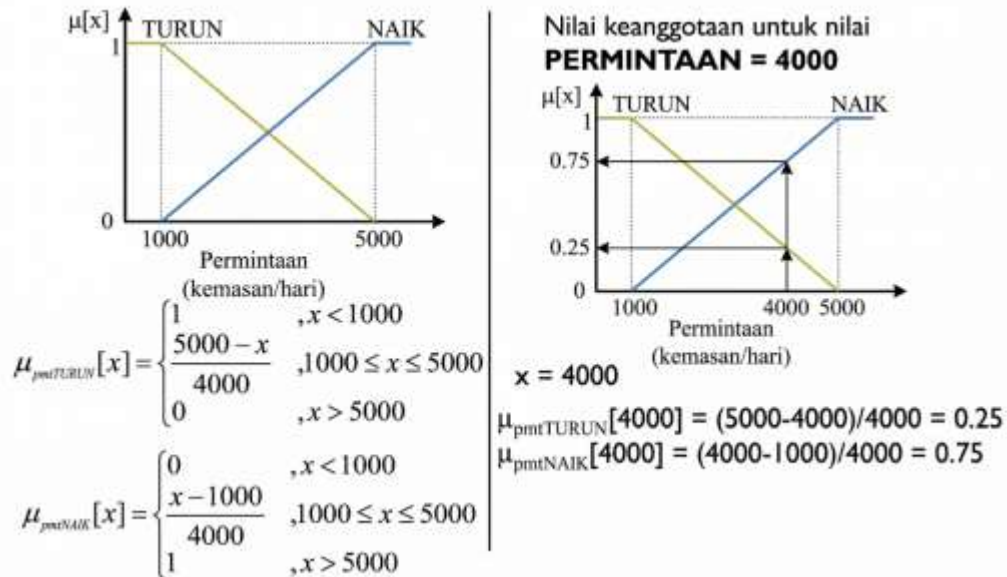
PERSEDIAAN:

100 - 600, $y = 300$

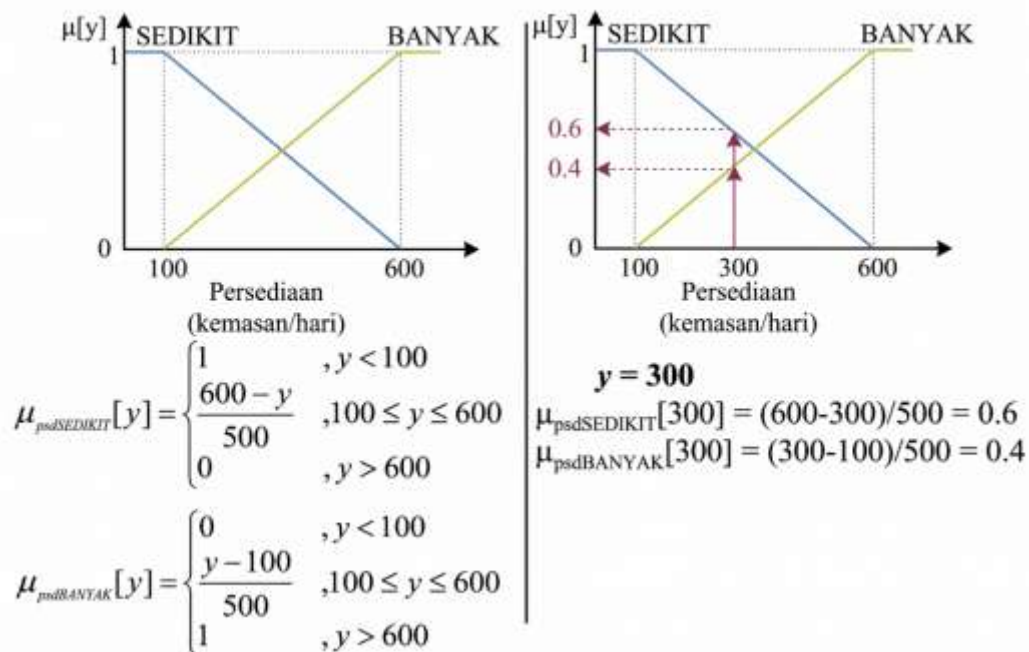
PRODUKSI: 2000

-7000, $z = ?$

Permintaan, terdiri dari 2 himpunan fuzzy: TURUN dan NAIK



PERSEDIAAN, terdiri dari 2 himpunan fuzzy: SEDIKIT dan BANYAK



PRODUKSI, terdiri dari 2 himpunan fuzzy: BERKURANG dan BERTAMBAH



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

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

$$\begin{aligned} \mu_{pmtTURUN} &= 0.25 & \mu_{pmtSEDIKIT} &= 0.6 \\ \mu_{pmtNAIK} &= 0.75 & \mu_{pmtBANYAK} &= 0.4 \end{aligned}$$

Nilai α -predikat dan Z dari setiap aturan

Rule 1

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_1 &= \mu_{pmtTURUN} \cap \mu_{psdBANYAK} \\ &= \min(\mu_{pmtTURUN}[4000] \cap \mu_{psdBANYAK}[300]) \\ &= \min(0.25; 0.4) \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

Dari himpunan produksi barang

BERKURANG,

$$(7000 - z)/5000 = 0.25 \rightarrow z_1 = 5750$$

Rule 2

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_2 &= \mu_{pmtTURUN} \cap \mu_{psdSEDIKIT} \\ &= \min(\mu_{pmtTURUN}[4000] \cap \mu_{psdSEDIKIT}[300]) \\ &= \min(0.25; 0.6) \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

Dari himpunan produksi barang

BERKURANG,

$$(7000 - z)/5000 = 0.25 \rightarrow z_2 = 5750$$

Nilai α -predikat dan Z dari setiap aturan

Rule 3

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_3 &= \mu_{pmtNAIK} \cap \mu_{psdBANYAK} \\ &= \min(\mu_{pmtNAIK}[4000] \cap \mu_{psdBANYAK}[300]) \\ &= \min(0.75; 0.4) \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

Dari himpunan produksi barang

BERTAMBAH,

$$(z - 2000)/5000 = 0.4 \rightarrow z_3 = 4000$$

Rule 4

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_4 &= \mu_{pmtNAIK} \cap \mu_{psdBANYAK} \\ &= \min(\mu_{pmtNAIK}[4000] \cap \mu_{psdBANYAK}[300]) \\ &= \min(0.75; 0.6) \\ &= 0.6 \end{aligned}$$

Dari himpunan produksi barang

BERTAMBAH,

$$(z - 2000)/5000 = 0.6 \rightarrow z_4 = 5000$$

Menghitung z akhir dengan merata-rata semua z berbobot :

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

$$z = \frac{0.25 * 5750 + 0.25 * 5750 + 0.4 * 4000 + 0.6 * 5000}{0.25 + 0.25 + 0.4 + 0.6} = \frac{7457}{1.5} = 4983$$

Jadi, jumlah makanan jenis ABC yang harus diproduksi sebanyak **4983** kemasan.



Menjelajah secara real time perhitungan fuzzy Tsukamoto



Fuzzy Logic IV

(Fuzzy Sugeno dan Implementasi)

Penalaran dengan metode Sugeno hampir sama dengan penalaran Mamdani, hanya saja output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear (Batubara, 2017). Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985.

- Model Fuzzy Sugeno Orde-Nol.

Secara umum bentuk model fuzzy Sugeno Orde-Nol adalah:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \cdot (x_2 \text{ is } A_2) \cdot (x_3 \text{ is } A_3) \cdot \dots \cdot (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z = k$$

dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai anteseden dan k adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

- Model Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model fuzzy Sugeno Orde-Satu adalah:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \cdot \dots \cdot (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z = p_1 * x_1 + \dots + p_N * x_N + q$$

dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai anteseden, dan p_i adalah suatu konstanta (tegas) ke- i dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuen. Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

Tahapan Metode Fuzzy Sugeno

1. Fuzzifikasi

Menentukan derajat keanggotaan fuzzy dari masukan variabel yang diberikan.

2. Inferensi

Menghitung nilai α -predikat dari kumpulan aturan. Setelah itu, sistem mengeksekusi konstanta (pada Orde-Nol) atau fungsi linear (pada Orde-Satu) untuk menghasilkan titik keluaran tegas. Sama halnya dengan pemodelan animasi sebelumnya, elemen bentuk dan background dipertahankan tetap sama. Untuk awalan garis penanda hasil tidak ada, kemudian garis tersebut ada dan waktu masuk dilengkapi animasi berjalan menempati titik ekuilibrium dari hasil perhitungan matematis konsekuen.

3. Defuzzifikasi

Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno, maka

defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya. Output agregat yang dihasilkan menggunakan prinsip perhitungan rata-rata terbobot (weighted average)



Implementasi Studi Case Metode Fuzzy Sugeno

Sebuah perusahaan makanan kaleng akan memproduksi makanan jenis ABC. Dari data 1 bulan terakhir, permintaan terbesar hingga mencapai 5000 kemasan/hari, dan permintaan terkecil sampai 1000 kemasan/hari. Persediaan barang digudang paling banyak sampai 600 kemasan/hari, dan paling sedikit sampai 100 kemasan/hari. Dengan segala keterbatasannya, sampai saat ini, perusahaan baru mampu memproduksi barang maksimal 7000 kemasan/hari, serta demi efisiensi mesin dan SDM tiap hari diharapkan perusahaan memproduksi paling tidak 2000 kemasan.

Apabila proses produksi perusahaan tersebut menggunakan 4 aturan sebagai berikut:

1. Rule 1: IF permintaan TURUN and persediaan BANYAK THEN
produksi barang = permintaan - persediaan

2. Rule 2 : IF permintaanTURUN and persediaan SEDIKIT THEN produksi barang = permintaan
3. Rule 3 : IF permintaan NAIK and persediaan BANYAK THEN produksi barang = permintaan
4. Rule 4 : IF permintaan NAIK and persediaan SEDIKIT THEN produksi barang = $1.25 \times \text{permintaan} - \text{persediaan}$

Berapa kemasan makanan jenis ABC yang harus diproduksi, jika jumlah permintaan sebanyak 4000 kemasan, dan persediaan di gudang masih 300 kemasan ? (Gunakan fungsi keanggotaan LINEAR)

Penyelesaian:

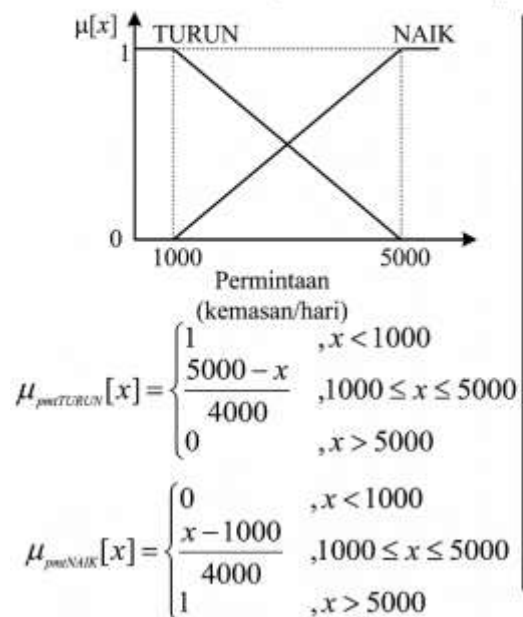
Ada 3 variabel yang digunakan: PERMINTAAN, PERSEDIAAN, dan PRODUKSI

PERMINTAAN: 1000 – 5000, $x = 4000$

PERSEDIAAN: 100 - 600, $y = 300$

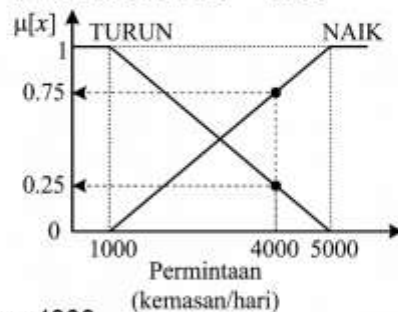
PRODUKSI: 2000 – 7000, $z = ?$

PERMINTAAN, terdiri dari 2 himpunan fuzzy: TURUN dan NAIK



Nilai keanggotaan untuk nilai

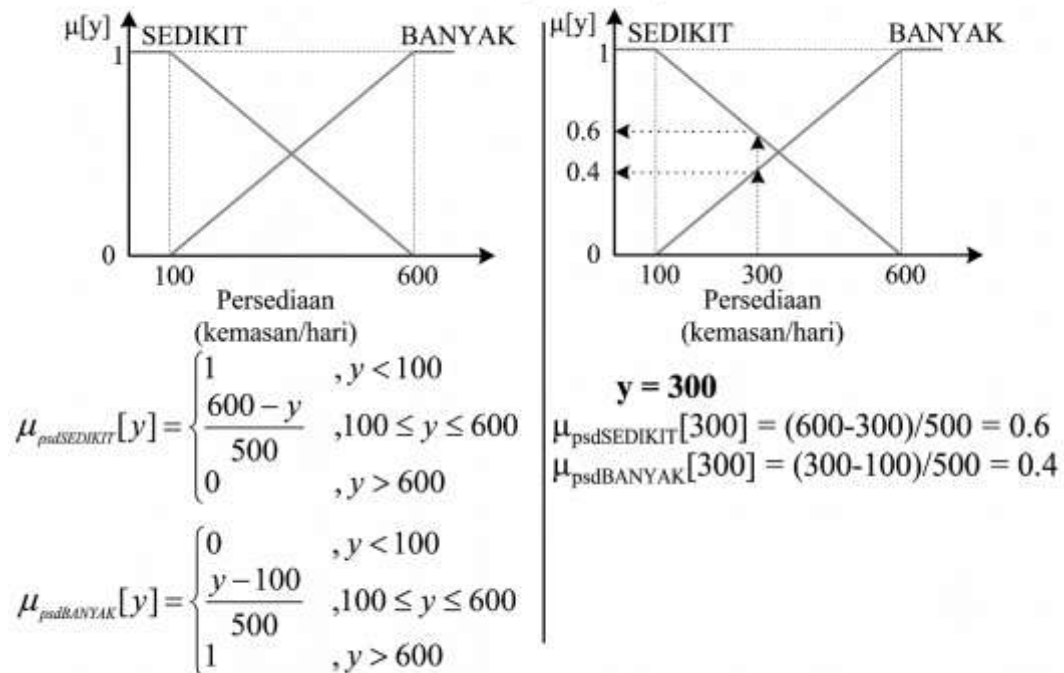
PERMINTAAN = 4000



$$\mu_{\text{pmtTURUN}}[4000] = (5000 - 4000) / 4000 = 0.25$$

$$\mu_{\text{pmtNAIK}}[4000] = (4000 - 1000) / 4000 = 0.75$$

PERSEDIAAN, terdiri dari 2 himpunan fuzzy: SEDIKIT dan BANYAK



PRODUKSI, tidak mempunyai himpunan fuzzy.

Nilai permintaan = 4000 Jumlah persediaan = 300

Nilai α -predikat dan Z dari setiap aturan

Rule 1

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_1 &= \mu_{pmtTURUN} \cap \mu_{psdBANYAK} \\ &= \min(\mu_{pmtTURUN}[4000] \cap \mu_{psdBANYAK}[300]) \\ &= \min(0.25; 0.4) \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

Dari bagian konsekuen Rule 1

$$\begin{aligned} z_1 &= \text{permintaan} - \text{persediaan} \\ &= 4000 - 300 = 3700 \end{aligned}$$

Rule 2

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_2 &= \mu_{pmtTURUN} \cap \mu_{psdSEDIKIT} \\ &= \min(\mu_{pmtTURUN}[4000] \cap \mu_{psdSEDIKIT}[300]) \\ &= \min(0.25; 0.6) \\ &= 0.25 \end{aligned}$$

Dari bagian konsekuen Rule 2

$$\begin{aligned} z_2 &= \text{permintaan} \\ &= 4000 \end{aligned}$$

Rule 3

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_3 &= \mu_{pmtNAIK} \cap \mu_{psdBANYAK} \\ &= \min(\mu_{pmtNAIK}[4000] \cap \mu_{psdBANYAK}[300]) \\ &= \min(0.75; 0.4) \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

Dari bagian konsekuen Rule 3

$$\begin{aligned} z_3 &= \text{permintaan} \\ &= 4000 \end{aligned}$$

Rule 4

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_4 &= \mu_{pmtNAIK} \cap \mu_{psdSEDIKIT} \\ &= \min(\mu_{pmtNAIK}[4000] \cap \mu_{psdSEDIKIT}[300]) \\ &= \min(0.75; 0.6) \\ &= 0.6 \end{aligned}$$

Dari bagian konsekuen Rule 2

$$\begin{aligned} z_4 &= 1.25 * \text{permintaan} - \text{persediaan} \\ &= 1.25 * 4000 - 300 = 4700 \end{aligned}$$

Menghitung z akhir dengan merata-rata semua z berbobot :

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

$$z = \frac{0.25 * 3700 + 0.25 * 4000 + 0.4 * 4000 + 0.6 * 4700}{0.25 + 0.25 + 0.4 + 0.6} = \frac{6345}{1.5} = 4230$$

Jadi, jumlah makanan jenis ABC yang harus diproduksi sebanyak **4230** kemasan.



Menjelajah secara real time perhitungan fuzzy sugeno



DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, A., & Algizan, A. A. (2019). *Perancangan Pengendali Suhu Air Pada Bak Mandi Menggunakan Fuzzy Logic Controller*. 8(2), 109–115.
- Batubara, S. (2017). *Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani Dan Fuzzy Sugeno Untuk Penentuan Kualitas Cor Beton Instan*. 2(1), 1–11.
- Choeszaini, M. (2023). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Kelembaban Dan Suhu Pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis Fuzzy Logic*. 5(1), 1–11.
- Handoko, K. ... Kurniawan, B. (2018). *Penerapan Logika Fuzzy Mamdani Menentukan Kok Terbaik Bulutangkis*.
- Nugroho, R. P. ... Furqon, M. T. (2019). *Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Menentukan Harga Sewa Hotel (Studi Kasus : Gili Amor Boutique Resort , Dusun Gili Trawangan , Nusa Tenggara Barat)*. 3(3), 2581–2588.
- Nurhasanah, Y. I., & Kurnia, E. M. A. (2025). *Integrasi Logika Fuzzy dengan Teknologi Cerdas : Tinjauan Sistematis atas Peluang , Tantangan , dan*. 10(1), 1–17.
- Prayogi, A. (2018). *Sistem Pendukung Keputusan Untuk Penentuan Jumlah Produksi Nanas Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto (Studi kasus PT . Great Giant Pineapple)*. 2(6).
- Setia, B. (2019). *Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Cerdas*. 02, 61–66.
- Studi, P. ... Mahasaraswati, U. (2021). *EVALUASI PELELANGAN PROYEK KONSTRUKSI DENGAN APLIKASI METODE FUZZY SET I Made Asna , I Gede Angga Diputera*. 10(2), 8–17.
- Syahputri, N. I. ... Harahap, A. (2022). *Analisa Perbandingan Membership Function Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Dosen Berprestasi Studi Kasus Universitas Harapan Medan*. 2009.

**Scan Untuk Mendapatkan Aplikasi
“Fuzzy Fun”**

Aplikasi penunjang pembelajaran metode fuzzy mamdani



