

## BAB II

### DASAR-DASAR FUZZY LOGIC

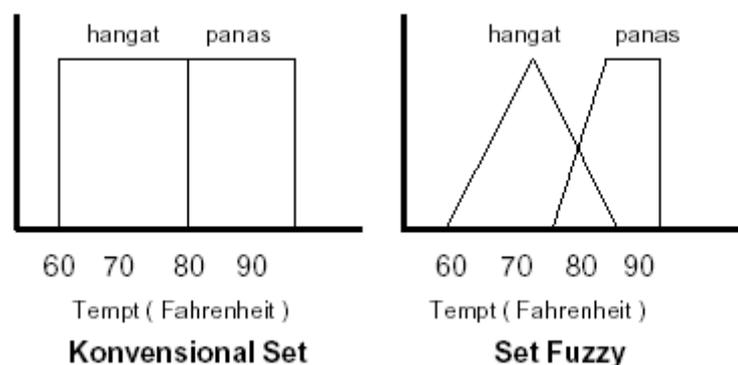
Pada pertengahan 1960, Prof. Lotfi Zadeh dari universitas California di Barkeley menemukan bahwa hukum benar atau salah dari logika boolean tidak memperhitungkan beragam kondisi yang nyata. Untuk menghitung gradasi yang tak terbatas jumlahnya antara benar dan salah, Zadeh mengembangkan ide penggolongan set yang ia namakan set fuzzy. Tidak seperti logika boolean, logika fuzzy memiliki banyak nilai. Tidak seperti elemen yang dikategorikan 100% ini atau itu, atau sebuah dalil yang menyatakan semuanya benar atau seluruhnya salah, fuzzy membaginya dalam derajat keanggotaan dan derajat kebenaran, yaitu : sesuatu yang dapat menjadi sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama. Hal ini telah dibuktikan oleh Bart Kosko bahwa logika boolean adalah kasus khusus dari logika fuzzy.

Lotfi Zadeh mengatakan Integrasi Logika Fuzzy kedalam sistem informasi dan rekayasa proses adalah menghasilkan aplikasi seperti sistem kontrol, alat alat rumah tangga, dan sistem pengambil keputusan yang lebih fleksibel, mantap, dan canggih dibandingkan dengan sistem konvensional. Dalam hal ini kami dapat mengatakan bahwa logika fuzzy memimpin dalam pengembangan kecerdasan mesin yang lebih tinggi ( machine Intelligency Quotient / MIQ ) Produk produk berikut telah menggunakan logika fuzzy dalam alat alat rumah tangga seperti mesin cuci, video dan kamera refleksi lensa tunggal, pendingin ruangan, oven microwave, dan banyak sistem diagnosa mandiri.

Keuntungan lain dari MIQ adalah Pemakaian yang lebih mudah digunakan, Kemandirian yang lebih tinggi, Kinerja yang lebih baik Dengan logika Fuzzy para ahli teknik penjual software dan desainer dapat membuat mesin yang dapat merespon secara lebih pintar pada keadaan yang tidak tepat dan sring

memiliki kondisi yang berlawanan dengan dunia luar. Secara eksplisit bekerja dengan informasi yang amat banyak, sinyal kontrol sebagai kondisi, dan masukan yang tidak tepat bagi sistem perangkat lunak yang akan membuat mesin ini menirunya. Dengan kata lain jalan bagi kita, manusia, merespon dunia luar. Kesamaan antara perilaku mesin dan perilaku manusia akan mereduksi kebutuhan akan kontrol luar yang kompleks, membuat mesin lebih “beralasan”. Dan membantu pabrik dalam komputerisasi yang berguna dalam kehidupan kita sehari-hari.

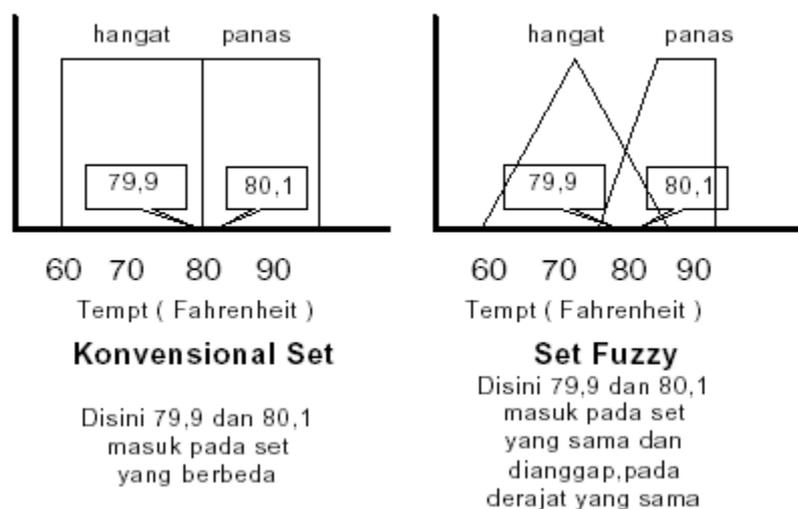
Sebagai contoh, apakah 80 derajat fahrenheit tergolong hangat atau panas? Dalam logika fuzzy, dan dalam dunia nyata, “kedua-duanya benar” mungkin merupakan jawabannya. Seperti yang anda lihat pada grafik fuzzy dibawah ini, 80 derajat adalah sebagian hangat dan sebagian panas dalam gambaran set fuzzy. Sementara hal ini dapat dibenarkan bahwa tumpang tindih antara set dapat terjadi dalam logika boolean, transisi dari set ke set terjadi seketika itu juga ( yaitu elemen yang dapat menjadi anggota set atau tidak ). Dengan logika fuzzy, sementara itu, transisi dapat bertingkat – tingkat ( yaitu elemen dapat memiliki sebagian keanggotaan dalam sejumlah set )



Gambar 2.1. Konvensional dan Fuzzy Set (1)

## 2.1. Himpunan Fuzzy, Konvensional Set dan Fuzzy Set

Dalam logika klasik menggunakan set konvensional yang ditunjukkan dibawah, 79,9 derajat dapat diklasifikasikan sebagai hangat, dan 80,1 derajat dapat diklasifikasikan sebagai panas. Perubahan kecil dalam sistem dapat menyebabkan perbedaan reaksi yang berarti. Dalam sistem fuzzy, perubahan kecil temperatur akan memberikan hasil perubahan yang tidak jelas pada kinerja sistem.



Gambar 2.2 Konvensional dan Fuzzy Set (2)

### Informasi tambahan pada set Fuzzy :

Dalam teori klasik atau konvensional, set “S” didefinisikan sebagai fungsi  $f_s$ , dinamakan “fungsi karakteristik S”.

$f_s$  memetakan elemen S ke satu (benar) atau nol (salah), seperti ditunjukkan dalam rumus dibawah.

Karena itu, untuk setiap elemen  $x$  dari S,  $f_s(x)=1$ , jika  $x$  adalah elemen S, dan  $f_s(x)=0$  jika  $x$  bukan elemen S

$f_s : S \rightarrow \{0,1\}$  untuk sebuah elemen  $x$  dari S,

$f_s(x) = 1$ , jika  $x \in S$

$f_s(x) = 0$ , jika  $x \notin S$

Secara tajam, dalam teori set fuzzy, set S didefinisikan sebagai  $s_m$ , dinamakan “fungsi keanggotaan S”

$s_m$ , memetakan elemen S pada nilai antara nol dan satu, seperti ditunjukkan dalam rumus. Untuk  $x$  sebagai elemen S,  $s_m(x)$  sama dengan derajat dimana  $x$  adalah elemen S, seperti ditunjukkan

dalam persamaan rumus berikut ini :

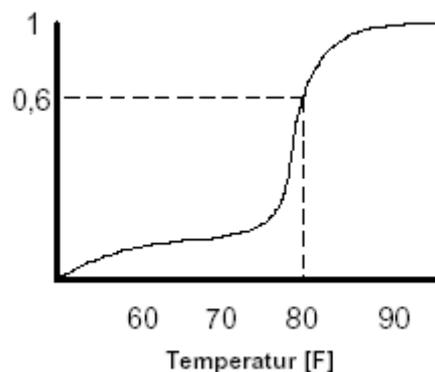
$$m_s : S \rightarrow [0,1]$$

$$m_s(x) = 1, \text{ berarti } x \text{ total dalam } S$$

$$m_s(x) = 0, \text{ berarti } x \text{ bukan dalam } S$$

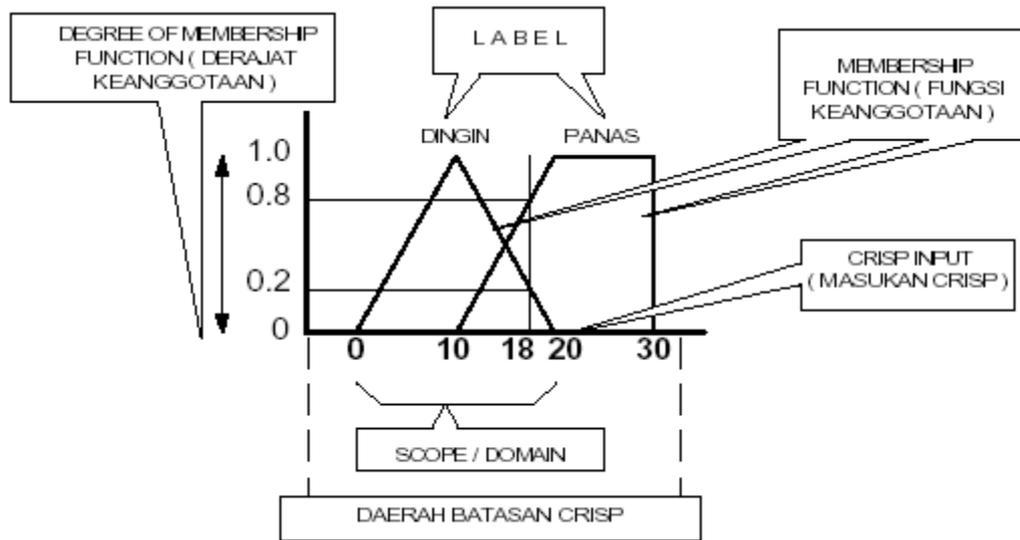
$$0 < m_s(x) < 1, \text{ berarti } x \text{ sebagian dalam } S$$

Logika Fuzzy mengenali tidak hanya clear cut, alternatif hitam dan putih, tapi juga tingkatan tak terbatas antara keduanya. Hal ini mungkin kelihatan tidak jelas, namun logika fuzzy menghilangkan banyak keraguan dengan menentukan nilai tertentu pada tingkatan tersebut. Sebagai contoh temperatur 80 derajat fahrenheit dapat diklasifikasikan antara daerah nol sampai satu sebagai panas pada tingkat 0,6. Nilai ini kemudian digunakan untuk menurunkan kepastian atau penyelesaian crisp terhadap masalah perancangan. Walaupun kelihatan kontradiksi dari namanya, logika fuzzy memberikan metoda ketepatan yang dapat diandalkan dari persoalan pengambilan keputusan crisp.



Gambar 2.3. Pemetanaan derajat kebenaran

Untuk mengerti sistem fuzzy, anda harus mengenal konsep dasar yang berhubungan dengan logika fuzzy.



Gambar 2.4. Variabel Fuzzy

## DERAJAT KEANGGOTAAN

Adalah derajat dimana nilai crisp compatible dengan fungsi keanggotaan ( dari 0 sampai 1 ), juga mengacu sebagai tingkat keanggotaan, nilai kebenaran, atau masukan fuzzy.

## LABEL

Adalah nama deskriptif yang digunakan untuk mengidentifikasi sebuah fungsi keanggotaan.

## FUNGSI KEANGGOTAAN

Adalah mendefinisikan fuzzy set dengan memetakan masukan crisp dari domainnya ke derajat keanggotaan.

## MASUKAN CRISP

Adalah masukan yang tegas dan tertentu.

## LINGKUP / DOMAIN

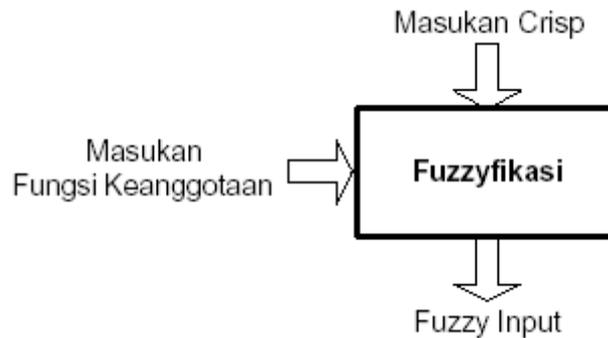
Adalah lebar fungsi keanggotaan. Jangkauan konsep, biasanya bilangan, tempat dimana fungsi keanggotaan dipetakan. Disini domain dari fuzzy set (fungsi keanggotaan ) adalah dari 0 sampai 20 derajat dan lingkungannya adalah 20 derajat.

## DAERAH BATASAN CRISP

Adalah jangkauan seluruh nilai yang mungkin dapat diaplikasikan pada variabel sistem. Menggunakan logika fuzzy untuk mencapai penyelesaian crisp pada masalah khusus biasanya melibatkan tiga langkah : fuzzyfikasi, evaluasi rule, dan defuzzyfikasi. Jika anda tidak / belum mengetahui bagaimana logika fuzzy itu bekerja kami sarankan agar anda benar benar memahami betul tiap langkah dalam bagian berikutnya.

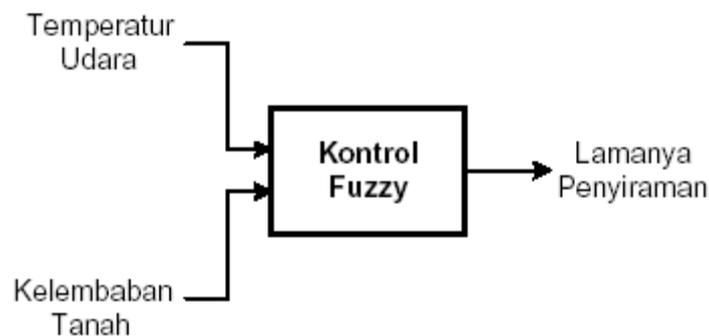
### **2.2. Fuzzyfikasi dan Fungsi Keanggotaan**

Langkah pertama dalam memproses logika fuzzy mengandung transformasi domain yang dinamakan fuzzyfikasi. Masukan crisp ditransformasikan kedalam masukan fuzzy. Sebagai contoh, masukan crisp 78 derajat akan ditransformasikan sebagai hangat dalam bentuk fuzzy. 90 mph akan ditransformasikan menjadi cepat, dan sebagainya. Untuk mengubah bentuk masukan crisp kedalam masukan fuzzy, fungsi keanggotaan pertama kali harus ditentukan untuk tiap masukan. Sekali fungsi keanggotaan ditentukan, fuzzyfikasi mengambil nilai masukan secara realtime, seperti temperatur, dan membandingkannya dengan informasi fungsi keanggotaan yang tersimpan untuk menghasilkan nilai masukan fuzzy.



Gambar 2.5. Fuzzyfikasi

Untuk menggambarkan proses fuzzyfikasi, mari kita lihat sistem penyiraman tanaman. Pengendali fuzzy dalam sistem ini akan menggunakan dua masukan, temperatur udara luar dan kondisi tanah, untuk mengkalkulasi lamanya penyiraman.



Gambar 2.6. Contoh Aplikasi Sistem Fuzzy  
(Untuk Menentukan Lama Penyiraman Tanaman)

Langkah pertama dalam fuzzyfikasi adalah menentukan label label fuzzy pada daerah batasan crisp dari setiap masukan crisp. Jadi untuk temperatur kita dapat menentukan daerah label misalkan kita bagi menjadi 5 label, Dingin, Sejuk, Normal, Hangat, Panas. Dan untuk kondisi tanah kita bagi menjadi 3 label, Kering, Lembab, Basah. Untuk pembahasan selanjutnya dari bagian ini kita akan

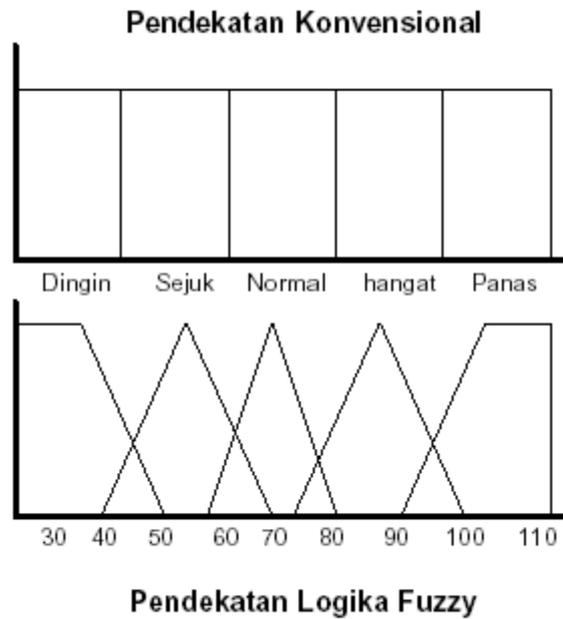
berkonsentrasi pada masukan temperatur.

**Info Tambahan Pada Label :**

- *Setiap masukan crisp kedalam sistem fuzzy dapat memiliki banyak label yang mengacu padanya. Secara umum, besarnya jumlah label menunjuk pada variabel masukan yang digambarkan, resolusi tertinggi resultan sistem kontrol fuzzy, memberi hasil dalam respon kontrol yang lebih baik.*
- *Sementara itu banyaknya label membutuhkan tambahan waktu komputasi. Lebih jauh jumlah label yang terlalu banyak dapat menyebabkan sistem fuzzy menjadi tidak stabil. Sebagai hasilnya, banyaknya label untuk setiap variabel dalam sistem fuzzy berkisar antara 3 dan 9. jumlahnya biasanya (namun tidak selalu) merupakan bilangan ganjil 3, 5, 7, 9.*
- *Kontrol set fuzzy dalam kedua sisi nol (atau normal) harus seimbang dan simetris. Jadi jika anda mempunyai variabel, temperatur, daerah fuzzy RENDAH harus mempunyai daerah TINGGI yang sama besarnya dengan temperatur normal yang diset sebagai NORMAL.*

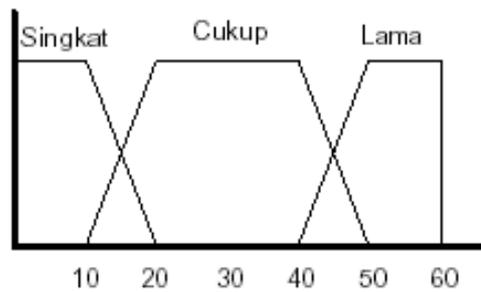
Berikutnya, fungsi keanggotaan dinyatakan untuk memberi arti numerik pada tiap label. Setiap fungsi keanggotaan mengidentifikasi daerah nilai masukan yang berkorespondensi dengan label. Tidak seperti logika boolean, fungsi keanggotaan label tidak mendefinisikan batas batas dimana label diaplikasikan secara penuh pada satu sisi cutoff dan tidak pada semua sisi lain cutoff.

Walaupun ada daerah dimana nilai masukan berubah secara bertahap dari keadaan dapat diaplikasikan ke keadaan tak dapat diaplikasikan.



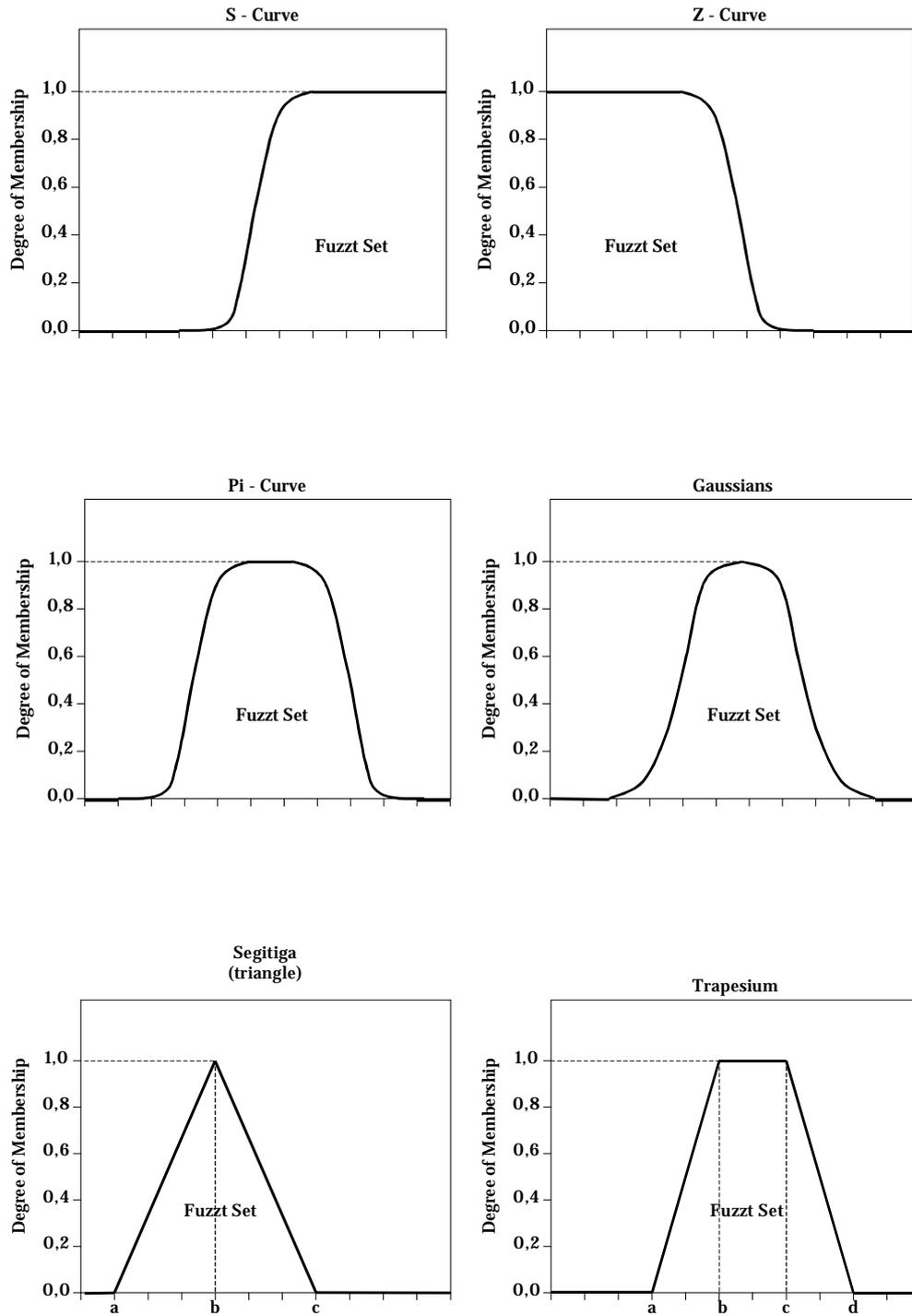
Gambar 2.7. Pendekatan Konvensional Dan Pendekatan Fuzzy

Keluaran fuzzy juga punya fungsi keanggotaan. Hal ini akan dibahas lebih jauh dan mendalam pada Evaluasi Rule dan Defuzzyfikasi



Gambar 2.8(a). Fungsi Keanggotaan Trapezoidal

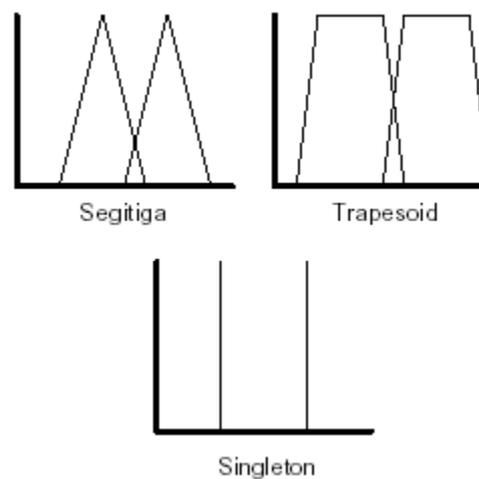
Berikut ini adalah beberapa contoh fungsi keanggotaan yang lainnya dan sering dipergunakan dalam mengaplikasikan logika fuzzy.



Gambar 2.8(b). Fungsi Keanggotaan Trapesoidal

**Informasi tambahan untuk Fungsi Keanggotaan :**

Bentuk fungsi keanggotaan mempengaruhi proses fuzzy dalam jalan yang tak diketahui. Sebagai contoh, bentuk fungsi mempengaruhi secara langsung waktu dan ruang yang dibutuhkan oleh mikrokontroler mengerjakan fuzzyfikasi dan defuzzyfikasi. Fungsi keanggotaan dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda. Bentuk trapesoid dan segitiga adalah yang paling sering digunakan. Meskipun bentuk yang lain mungkin saja lebih mewakili fenomena alam yang terjadi, mereka membutuhkan persamaan yang lebih rumit atau tabel yang lebih besar terhadap keakuratan yang diwakilinya. Singleton mudah diaplikasikan dalam komputer dan algoritma defuzzyfikasi yang sederhana. Bentuk ini sering digunakan untuk menggambarkan defuzzyfikasi.



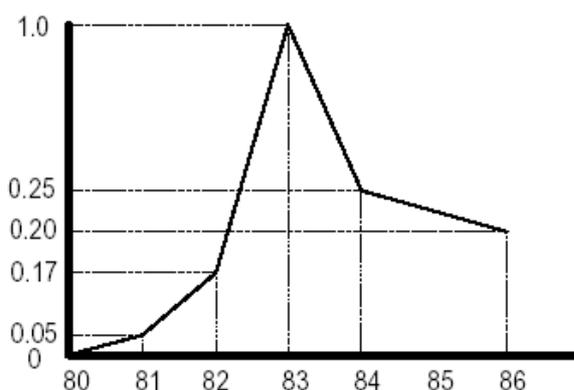
*Gambar 2.9. Fungsi Keanggotaan*

Tergantung pada bentuk fungsi keanggotaan, bermacam macam metode digunakan untuk mewakili fungsi dalam sebuah mikrokontroler. Representasi point slope membuat fungsi trapesoid, segitiga, dan singleton yang diwakili dengan jumlah ruangan waktu yang minimal.

Tabel dibawah merupakan gambaran umum untuk fungsi tak beraturan. Meskipun hal ini mungkin cara tercepat mewakili fuzzyfikasi, namun ia juga memakai memori dalam jumlah yang besar.

Lebih jauh, fungsi bentuk tak beraturan menghabiskan waktu lebih banyak dalam defuzzyfikasi jika mikrokontroller menggunakan defuzzyfikasi Center Of Gravity (COG). Defuzzyfikasi COG dijelaskan secara detil dalam bagian defuzzyfikasi.

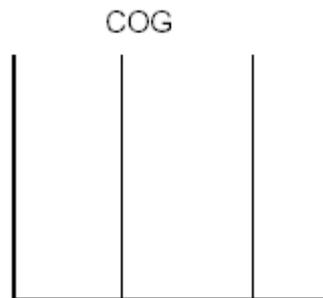
Tempat	$\mu$
80	0
81	0.05
82	0.17
83	1.0
84	0.25
86	0.20



Gambar 2.10. Fungsi Keanggotaan Yang Tidak Beraturan

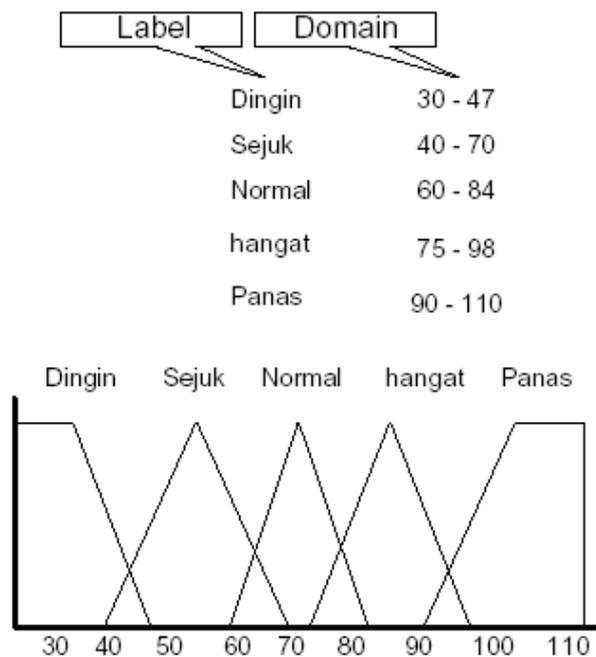
Ketika singleton digunakan untuk menggambarkan fungsi keanggotaan keluaran, defuzzyfikasi COG mereduksi ke perhitungan rata rata berat secara sederhana. Penyelidikan telah menunjukkan bahwa kinerja yang pantas dan penghematan waktu yang berarti dapat dicapai menggunakan keluaran yang singleton.

Menggambarkan singleton adalah merupakan aksi keluaran resultan yang mungkin tidak mewakili respon sedekat yang anda dituju.



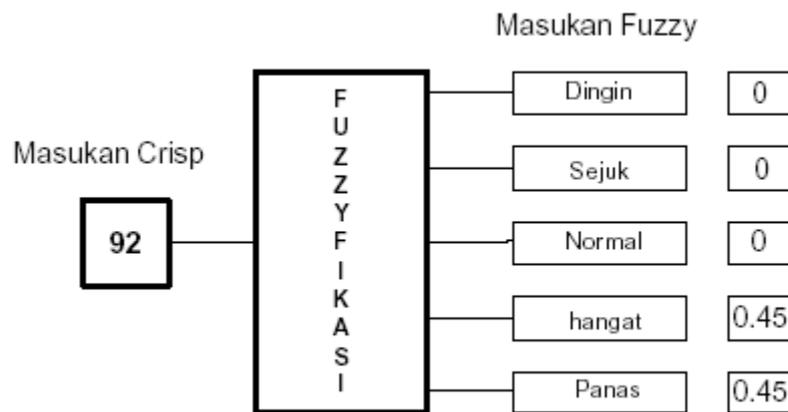
Gambar 2.11. Fungsi Keanggotaan Untuk Fuzzy Singleton

Masukan fungsi keanggotaan dihasilkan dengan menuliskan satu demi satu bilangan, yaitu derajat keanggotaan, untuk setiap nilai masukan yang mungkin dari label yang diberikan.

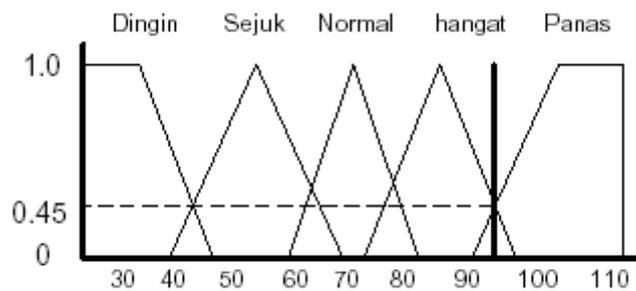


Gambar 2.12. Fungsi Keanggotaan Lengkap Dengan Label dan Range-nya

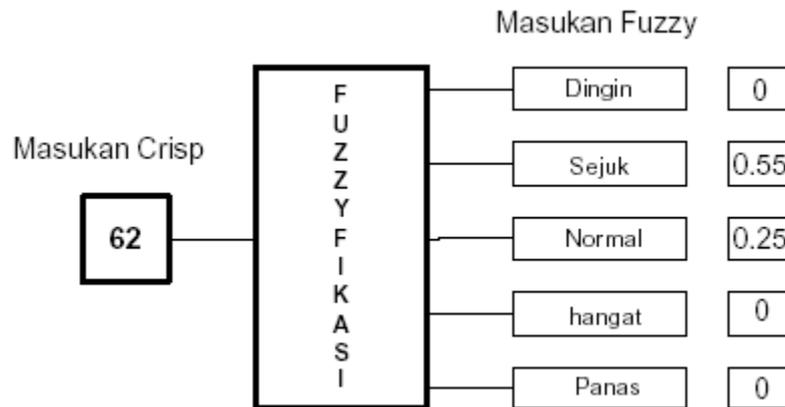
Harga ( $\mu$ ) pada sumbu y mengacu pada derajat dimana nilai masukan crisp (temperatur) dipasang pada tiap label fungsi keanggotaan {sejuk, hangat, dan sebagainya}. Seperti yang anda lihat, nilai masukan dapat menjadi milik lebih dari satu set fuzzy. 92 derajat termasuk dalam set hangat dan juga set panas yang telah didefinisikan oleh fungsi keanggotaan.



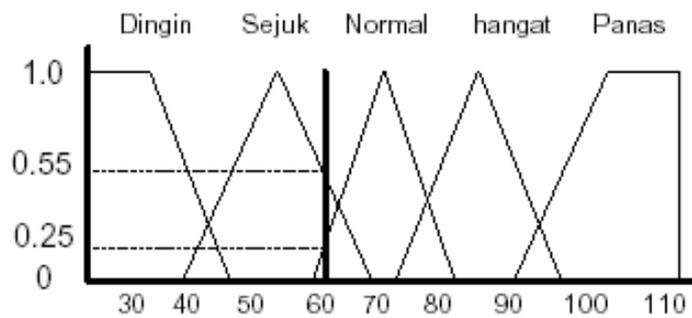
Gambar 2.13. Blok Diagram Fuzzyfikasi



Gambar 2.14. Pemetaan Masukan Crisp Kedalam Fungsi Keanggotaan dan Derajat Keanggotaannya



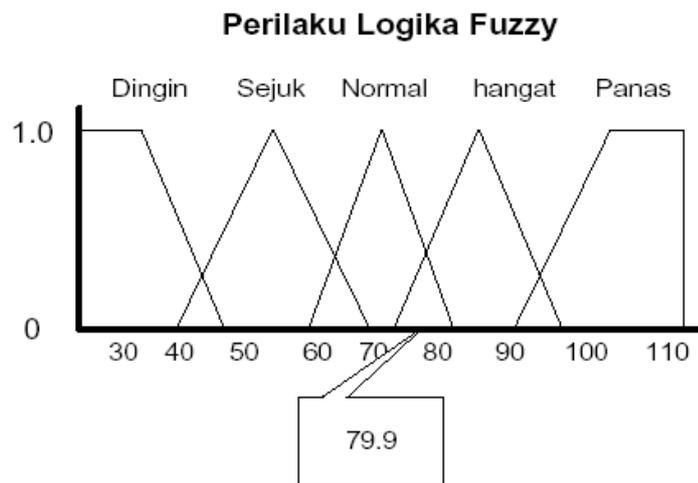
Gambar 2.13. Blok Diagram Fuzzyfikasi



Gambar 2.14. Pemetaan Masukan Crisp Kedalam Fungsi Keanggotaan dan Derajat Keanggotaannya

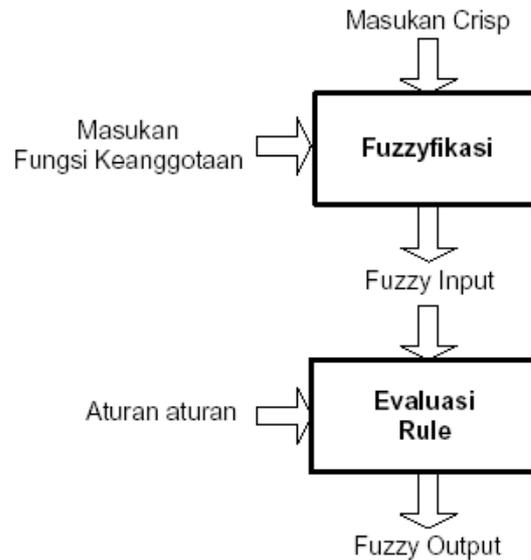
Menguraikan masukan crisp dalam bentuk fuzzy memungkinkan sistem merespon secara halus perubahan dalam temperatur masukan. Sebagai contoh, reaksi sistem fuzzy terhadap aturan, “jika temperatur luar panas, maka lamanya penyiraman singkat; jika temperatur luar hangat maka lamanya penyiraman agak lama” akan berubah hanya sedikit jika temperatur luar bergerak dari 80 derajat ke 79,9 derajat. Respon sistem dalam bentuk lamanya penyiraman akan dihitung pada derajat keanggotaan temperatur masukan pada tiap set, pada keadaan ini, 80 derajat dan 79,9 derajat adalah normal sekaligus hangat.

Pada bagian / langkah berikutnya setelah fuzzyfikasi yaitu evaluasi rule, kita akan mengetahui bagaimana aturan aturan menggunakan masukan fuzzy untuk menentukan aksi sistem. Jika anda belum memahami bagian fuzzyfikasi ini disarankan agar anda mengulangi lagi sampai anda benar benar faham dan ngerti tentang fuzzyfikasi sebelum anda melangkah ke evaluasi rule.



Gambar 2.15. Perilaku Logika Fuzzy

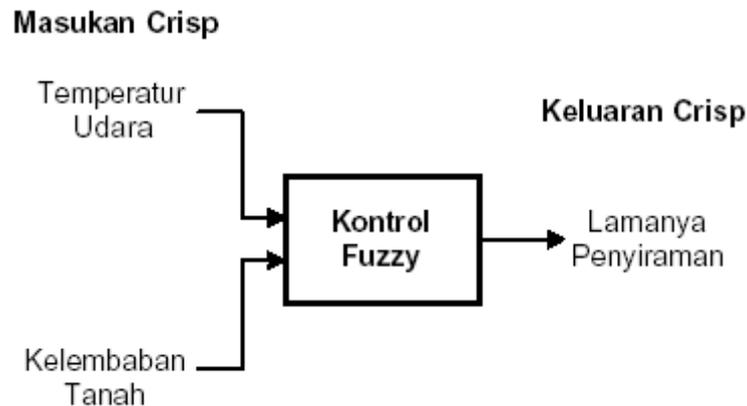
### 2.3 Evaluasi Rule



Gambar 2.16. Blok Diagram Evaluasi Rule

Dalam langkah kedua pemroses logika fuzzy, dinamakan evaluasi rule, prosesor fuzzy menggunakan aturan linguistik untuk menentukan aksi kontrol apa yang harus dilakukan dalam merespon nilai masukan yang diberikan. Evaluasi rule juga mengacu pada fuzzy inference, mengaplikasikan aturan pada masukan fuzzy yang dihasilkan dalam proses fuzzyfikasi, kemudian mengevaluasi tiap aturan dengan masukan yang dihasilkan dari proses fuzzyfikasi. Dalam proses fuzzyfikasi, kita mengetahui bagaimana masukan crisp, temperatur dan kelembaban, ditransformasikan kepada masukan fuzzy dalam sistem penyiraman tanaman.

Sekarang kita akan mengetahui bagaimana masukan masukan tersebut digunakan dalam proses evaluasi rule. Aturan aturan fuzzy biasanya menggunakan pernyataan jika-maka yang menggambarkan aksi yang diambil dalam merespon bermacam macam masukan fuzzy.



Gambar 2.17. Blok Diagram Sistem Fuzzy Untuk Menentukan Lama Penyiraman

#### Contoh aturan-aturan fuzzy :

- **If** tanah basah **And** temperatur panas, **Then** lamanya penyiraman pendek
- **If** mobil bergerak cepat **And** permukaan jalan kering, **Then** pengereman keras
- **If** air pancuran terlalu panas, **Then** naikkan aliran air dingin perlahan lahan

Meskipun aturan aturan tersebut kelihatan bebas dalam bentuk bahasa alami, mereka dibatasi oleh istilah istilah linguistik, serta sintaksis yang baku. Sintaksis tersebut adalah :

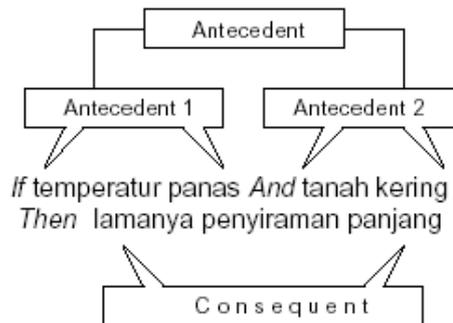
**If antecedent 1 And antecedent 2 ..... Then consequent 1 And cosequent 2.....**

Dimana :

**And** adalah salah satu operator logika fuzzy yang diijinkan,

**Antecedent** adalah bentuk dari : *Variable masukan = Label* ( contohnya : temperatur = panas, dimana temperatur adalah variabel masukan dan panas adalah salah satu label fungsi keanggotaan yang berhubungan dengan temperatur ).

**Consequent** adalah bentuk : *variabel keluaran = Label* ( contohnya : lamanya penyiraman = panjang atau, secara bahasa, lamanya penyiraman panjang )



Gambar 2.18. Representasi Rule

Aturan aturan mengikuti perilaku umum sistem dan ditulis dalam pola label linguistik fungsi keanggotaan. Untuk dua masukan, satu sistem keluaran aturan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matriks seperti gambar disebelah kanan. Sebagai catatan bahwa pendekatan intuitif sistem dapat menggantikan perhitungan matematis yang pasti yang mungkin dibutuhkan untuk menggambarkan fisik yang dimaksud dari sistem.

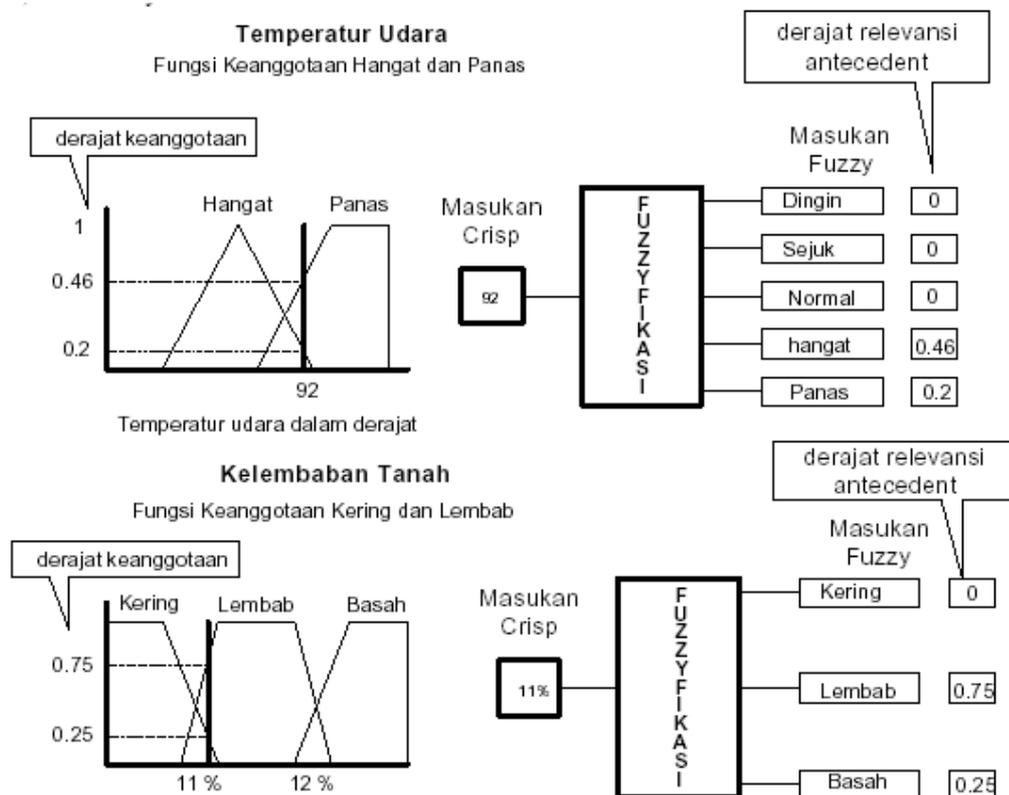
		Anticendent 1				
		Temperatur				
		Dingin	Sejuk	Normal	Hangat	Panas
Anticendent 2	Basah	Pendek	Pendek	Pendek	Pendek	Pendek
	Lembab	Pendek	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
	Kering	Panjang	Panjang	Panjang	Panjang	Panjang

Gambar 2.19. FAM (Fuzzy Assosiatif Memory)

Aturan aturan contoh yang diambil dari gambar 2.19 diatas sebagai berikut :

- **If *temperatur panas* And *tanah kering*, Then *lamanya penyiraman panjang***
- **If *temperatur dingin* And *tanah basah* Then *lamanya penyiraman pendek***

Langkah berikutnya dalam evaluasi rule adalah mengevaluasi hubungan atau derajat keanggotaan antecedent setiap aturan. Untuk mengetahui hubungan tiap antecedent, perpanjang garis referensi vertikal melalui masukan crisp (nilai X) dan dapatkan nilai Y dimana keduanya berpotongan pada fungsi keanggotaan. Dalam sistem penyiraman, masukan temperatur udara 92 derajat fahrenheit ditemukan pada perpotongan di titik 0,2 set fuzzy “hangat” dan 0,46 set fuzzy “panas”.masukan kelembaban tanah 11 % akan didapatkan pada perpotongan 0,25 set fuzzy kering dan 0,75 set fuzzy lembab.



Gambar 2.20. Rule Inferensi

Sekali hubungan dari tiap antecedent telah ditentukan, langkah berikutnya adalah mendapatkan derajat kebenaran (rule strength) untuk setiap rule. Saat antecedent dihubungkan melalui operator “AND”, rule strength mengasumsikan nilai nilai strength terkecil dari antecedent rule. Nilai minimum ini yang akan menjadi nilai kebenaran bagi rule tersebut.

Tabel 2.1. Contoh Penentuan Rule Strength

Rule	Rule Strength
<b>If</b> <i>temperatur panas</i> (0.46) <b>AND</b> <i>tanah kering</i> (0.25) <b>Then</b> <i>lama penyiraman panjang</i>	0,25
<b>If</b> <i>temperatur hangat</i> (0.2) <b>AND</b> <i>tanah lembab</i> (0.75) <b>Then</b> <i>lama penyiraman sedang</i>	0,2
<b>If</b> <i>temperatur hangat</i> (0.2) <b>AND</b> <i>tanah kering</i> (0.25) <b>Then</b> <i>lama penyiraman panjang</i>	0,2
<b>If</b> <i>temperatur panas</i> (0.46) <b>AND</b> <i>tanah lembab</i> (0.75) <b>Then</b> <i>lama penyiraman sedang</i>	0,46

### Info tambahan untuk operator

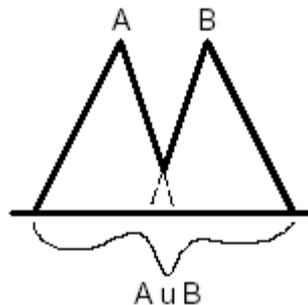
- Dua operator utama dalam crisp sebagaimana diketahui dengan baik dalam teori set fuzzy adalah IRISAN (dasar untuk operator logika AND) dan GABUNGAN (dasar untuk logika OR)
- Dengan operator fuzzy AND zadeh, minimum nilai kebenaran antecedent dipilih untuk menentukan rule strength keseluruhan.
- Dengan operator fuzzy OR zadeh, maksimum nilai kebenaran antecedent akan dipilih. Tetapi, direkomendasikan menggunakan operator AND dalam keadaan apapun bila memungkinkan.
- Operator logika fuzzy yang lainnya adalah NOT. Jika X mempunyai nilai

kebenaran 0,3 ( seperti contoh sebelumnya ), maka not X mempunyai nilai kebenaran 0,7. sebagai catatan bahwa dalam fungsi utama, sebagai contoh, “Panas” menghasilkan nilai 0,9 pada derajat keanggotaan, maka NOT Panas akan menghasilkan nilai 0,1 pada derajat keanggotaan.

- Operasi utama dalam set fuzzy, AND, OR, dan NOT, sama seperti set klasik, meskipun didefinisikan sedikit berbeda.
- Operasi logika fuzzy OR berkorespondensi dengan union (gabungan) dari dua set fuzzy. Gabungan dua set fuzzy A dan B, dengan fungsi derajat keanggotaan  $\mu_A [X]$  dan  $\mu_B [X]$  secara umum adalah :

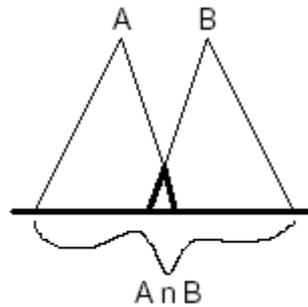
$$\mu_{A \cup B}[X] = \text{MAX} [\mu_A [X], \mu_B [X]]$$

Untuk seluruh nilai X. Dengan kata lain, gabungan dua set fuzzy ditentukan dengan mengambil nilai maksimum dari dua fungsi keanggotaan.



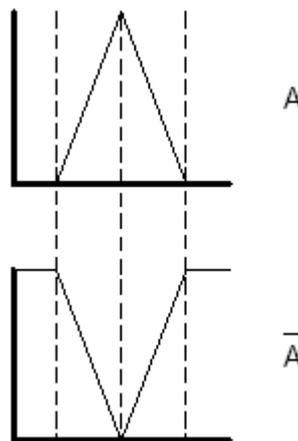
- Operasi logika AND berkorespondensi dengan interseksi /irisan dua set. Interseksi dua set ditentukan dengan mengambil nilai minimum dari dua fungsi keanggotaan.

$$\mu_{A \cap B}[X] = \text{MIN} [\mu_A [X], \mu_B [X]] \text{ untuk semua nilai } X$$

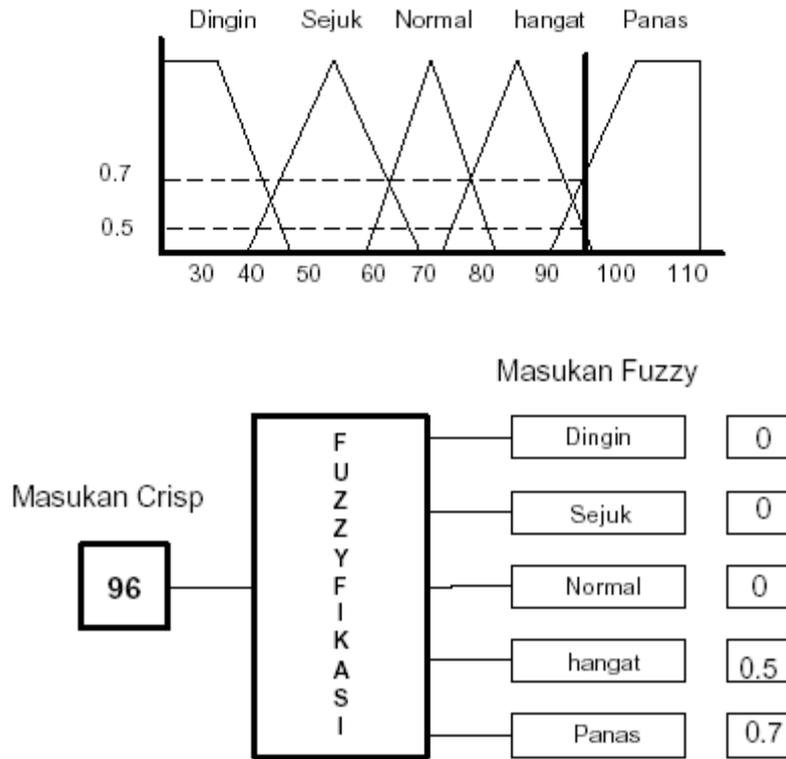


- Operasi logika NOT berkorespondensi dengan komplemen dari set tunggal. Komplemen set fuzzy A, dilukiskan dengan simbol Not A adalah :

$$\mu_{\text{Not.A}}[x] = 1 - \mu_A[x] \text{ untuk semua nilai } X.$$



Untuk mengetahui bagaimana perubahan dalam temperatur masukan mempengaruhi nilai kebenaran dari empat contoh rule yang telah kita definisikan untuk sistem penyiraman sebelumnya anda dapat melihat gambar yang ada dibawah ini. Perhatikan bagaimana perubahan temperatur dihasilkan dalam rule fading in dan rule fading out akibat impact sebagai temperatur masukan yang mengakibatkan rule rule tersebut berarti atau tidak sama sekali. Perbedaan yang tajam dengan sistem yang konvensional yang mungkin mengeksekusi subrutin yang berbeda untuk kategori temperatur yang berbeda pula.



Gambar 2.21. Blok Fuzzifikasi Untuk Masukan Crisp Temperatur 96° F

Tabel 2.2. Contoh Penentuan Rule Strength

Rule	Rule Strength
<b>If</b> <i>temperatur panas</i> (0.7) <b>AND</b> <i>tanah kering</i> (0.25) <b>Then</b> <i>lama penyiraman panjang</i>	0,25
<b>If</b> <i>temperatur hangat</i> (0.05) <b>AND</b> <i>tanah lembab</i> (0.75) <b>Then</b> <i>lama penyiraman sedang</i>	0,05
<b>If</b> <i>temperatur hangat</i> (0.05) <b>AND</b> <i>tanah kering</i> (0.25) <b>Then</b> <i>lama penyiraman panjang</i>	0,05
<b>If</b> <i>temperatur panas</i> (0.7) <b>AND</b> <i>tanah lembab</i> (0.75) <b>Then</b> <i>lama penyiraman sedang</i>	0,7

Langkah berikutnya adalah menentukan keluaran fuzzy dengan membandingkan rule strength dari seluruh rule yang dispesifikasikan oleh label consequent yang sama ( contohnya, aksi keluaran ), untuk temperatur masukan 92 derajat fahrenheit dan kelembaban tanah 11% dapat anda liat bahwa rule 2 dan 4 memiliki aksi yang sama, yaitu lamanya penyiraman sedang, dengan perbedaan rule strength, serta rule 1 dan 3 mengindikasikan durasi yang panjang, juga dengan rule strength yang berbeda. Saat hal ini menjadi suatu masalah, keluaran fuzzy ditentukan dengan rule strength yang memiliki nilai tertinggi dari aksi keluaran yang sama. Sehingga hanya ada satu keluaran fuzzy untuk setiap keluaran label fungsi keanggotaan.

Sebagai contoh, jika aksi keluaran dari fokus kita adalah lamanya penyiraman panjang maka nilai rule strength tertinggi untuk seluruh rule dari aksi keluaran yang sama akan menjadi label keluaran panjang untuk semua keluaran fuzzy.

Tabel 2.3. Contoh Penentuan Rule Strength

Rule	Rule Strength
Rule 1 : <b>IF</b> temperatur panas (0.46) <b>AND</b> tanah kering (0.25) <b>THEN</b> lama penyiraman panjang	<b>0.25</b>
Rule 2: <b>IF</b> temperatur hangat (0.2) <b>AND</b> tanah lembab (0.75) <b>THEN</b> lama penyiraman sedang	<b>0.2</b>
Rule 3: <b>IF</b> temperatur hangat (0.2) <b>AND</b> tanah kering (0.25) <b>THEN</b> lama penyiraman panjang	<b>0.2</b>
Rule 4 : <b>IF</b> temperatur panas (0.46) <b>AND</b> tanah lembab (0.75) <b>THEN</b> lama penyiraman sedang	<b>0.46</b>

Dari keempat rule tersebut maka dapat ditentukan keluaran Fuzzy adalah **0.25** untuk *panjang* dan **0.46** untuk *sedang*

Secara intuitif, jika banyak rule digunakan untuk sebuah aksi keluaran, satu yang paling besar dipakai. Dalam bentuk yang paling sederhana, jika dua atau lebih rule dipakai untuk memberikan pengaruh yang sama pada keluaran, rule yang paling berarti memberikan nilai kebenaran yang akan mendominasi.

Sebagai Kesimpulan langkah langkah dalam evaluasi rule adalah :

- Buat rule yang menggambarkan perilaku sistem tujuan
- Untuk nilai masukan crisp, tentukan derajat kebenaran tiap antecedent menggunakan transformasi fuzzyfikasi.
- Dapatkan strength dari keseluruhan rule, yaitu nilai minimum derajat kebenaran antecedent.
- Turunkan keluaran fuzzy, yaitu nilai maksimum rule strength untuk setiap label qonsequent.

Secara diagram alur dapat digambarkan seperti gambar berikut ini mulai dari penyusunan rule sampai dengan keluaran fuzzy untuk setiap label consequent.

#### Prosedur Evaluasi Rule



Gambar 2.22. Diagram Alur Evaluasi Rule

Metode evaluasi rule yang digunakan disini dinamakan inference “MIN-MAX”, karena ia mengambil nilai minimum antecedent untuk menentukan rule strength dan nilai maksimum rule strength untuk setiap qonsequent untuk menentukan keluaran fuzzy. Dalam langkah berikutnya, Defuzzyfikasi, keluaran difuzzikan, lamanya penyiraman adalah pendek, panjang, sedang, akan dikombinasikan kedalam aksi keluaran crisp tunggal. Jika pada bagian evaluasi rule ini anda masih mengalami kebingungan kami sarankan agar anda membaca lagi sampai anda benar benar mengerti dan faham sebelum anda melangkah ke bagian selanjutnya yakni **DEFUZZYFIKASI**.

## 2.4 Defuzzyfikasi

Dalam defuzzyfikasi, seluruh keluaran fuzzy yang signifikan (seperti, lamanya penyiraman pendek, panjang, dan sedang), akan dikombinasikan kedalam variabel keluaran yang spesifik, dan hasil yang komprehensif. Dalam proses ini seluruh nilai keluaran fuzzy secara efektif memodifikasi fungsi keanggotaan keluarannya. Seperti yang anda ketahui dalam evaluasi rule, dengan menyimpan rule strength yang terbesar untuk tiap qonsequent, rule yang paling benar akan mendominasi. Satu dari banyak teknik defuzzyfikasi yang paling sering digunakan adalah Center of Gravity (COG) atau metode centroid. Dalam metode ini, tiap fungsi keanggotaan keluaran diatas nilai yang ditunjukkan oleh masing masing keluaran fuzzydi truncated (dipepat / dipotong).

Hasil “clipped”/”potongan” fungsi keanggotaan kemudian dikombinasikan dan keseluruhan center of gravity dihitung. Pemapatan tersebut dinamakan dengan lamda cut.



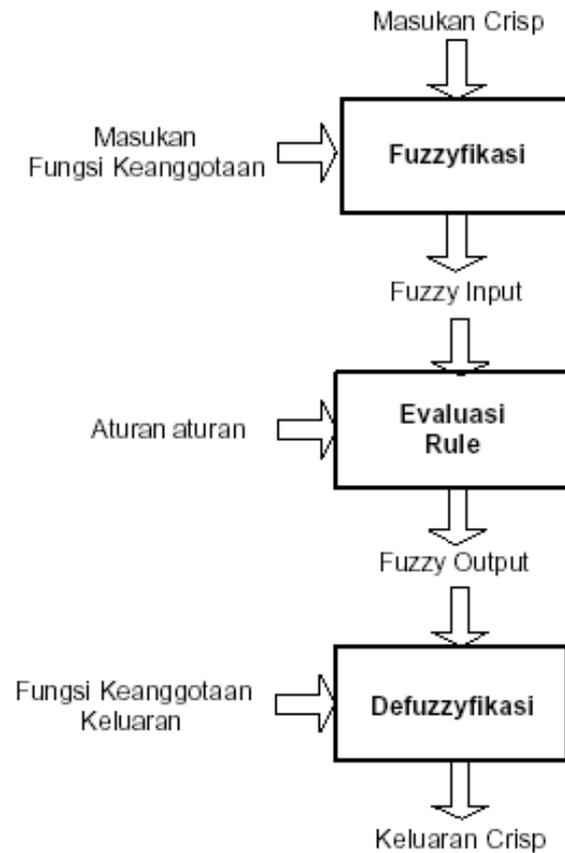
Gambar 2.23. Keluaran Fuzzy

Lamda-cut ( $\lambda$  - cut) membatasi kebenaran maksimum daerah fuzzy, atau fungsi keanggotaan. Untuk setiap  $\mu A$

$$\mu A(x) = \min (\mu A[x], \lambda\text{-cut})$$

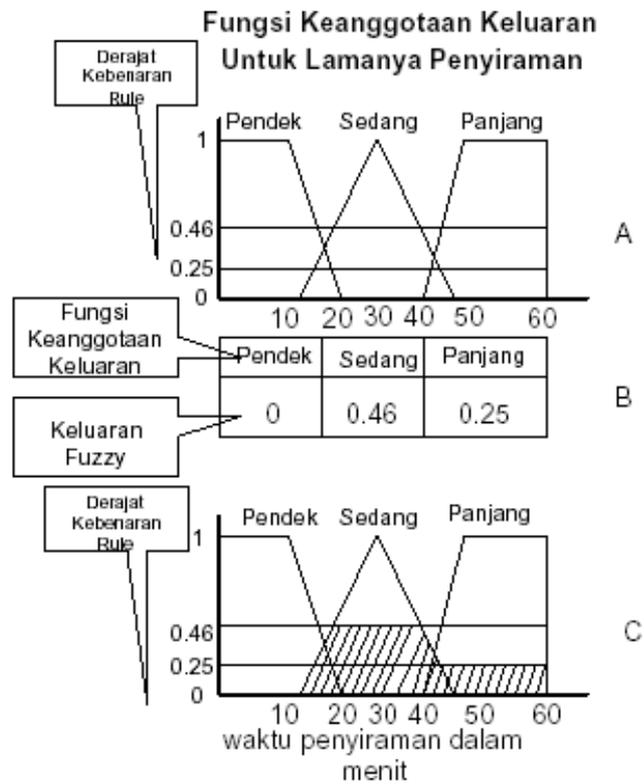
Tidak seperti alpha-cut threshold yang ditetapkan oleh pembuat (atau user dalam beberapa contoh), lamda threshold ditentukan oleh fuzzy inference selama proses eksekusi. Contoh utama lamda-cut adalah pemotong fungsi keanggotaan pada tingkatan akhir proses evaluasi rule.

Dalam contoh sistem penyiraman yang lalu, saat temperatur 92 derajat fahrenheit dan kelembaban tanah 11%, fungsi keanggotaan keluaran akan terlihat seperti diagram A dibawah. Keluaran fuzzy untuk setiap fungsi keanggotaan diberikan didalam tabel B. Menggunakan metode COG, fungsi keanggotaan keluaran dipepat seperti ditunjukkan dalam diagram C.

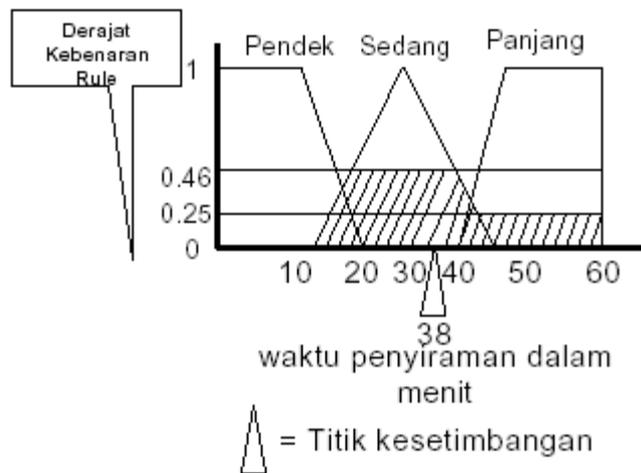


Gambar 2.24. Tahapan Logika Fuzzy

Langkah berikutnya adalah mendapatkan “titik kesetimbangan”, dari “**Center of Gravity**” daerah yang berbayang. Hal ini menggambarkan keluaran di defuzzyfikasikan. Jadi, 38 menit adalah lamanya penyiraman yang tepat untuk kelembaban tanah 11% dan temperatur udara 92 derajat Fahrenheit untuk model fuzzy yang dibentuk terdahulu.



Gambar 2.25. Keluaran Logika Fuzzy



Gambar 2.26. Nilai Crisp Keluaran Logika Fuzzy Berdasarkan Center Of Gravity

**Informasi Tambahan Untuk COG**

$$\text{Rumus COG adalah : } COG = \frac{\int_a^b m(x) \cdot x \cdot dx}{\int_a^b m(x) \cdot dx}$$

Dalam praktek, fungsi keanggotaan keluaran singleton (dijelaskan kemudian dalam bab ini) sering digunakan ; fungsi ini menyederhanakan banyak perhitungan defuzzyfikasi Dalam teori, kita harus menghitung center of gravity pada seluruh titik dari domain keluaran. Tetapi, kita harus mendapatkan perkiraan yang dapat dipercaya dengan menghitung COG pada titik titik sampel dalam domain keluaran.

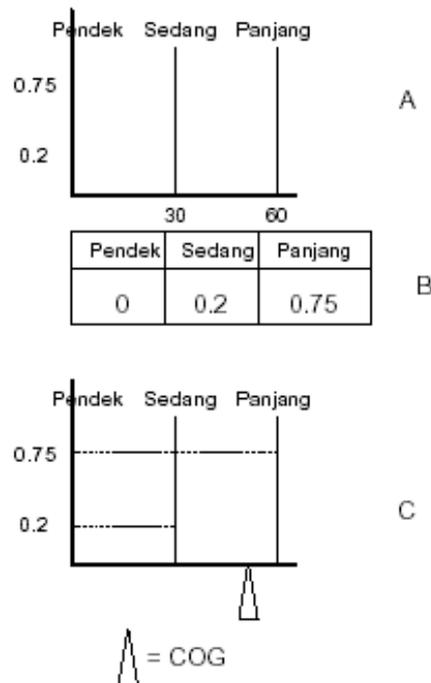
Dengan langkah yang cukup sederhana untuk melengkapi akurasi tanpa waktu yang terlalu lama. Metode Defuzzyfikasi COG dapat juga diterapkan pada fungsi keanggotaan keluaran singleton. Fungsi keanggotaan keluaran singleton diwakili oleh titik titik dalam ruang keluaran dan juga tidak memiliki massa. Pemepatan fungsi keanggotaan keluaran memberikan hasil dalam pengurangan ketinggiannya seperti diilustrasikan dalam gambar dibawah ini.

Menggunakan metode defuzzyfikasi COG, keluaran nilai nilai singleton dikombinasikan menggunakan bobot rata-rata. Rumus COG untuk perhitungan reduksi singleton adalah :

$$\text{Keluaran Crisp ( } y) = \frac{\sum_i (\text{Keluaran Fuzzy}_i) \cdot (\text{Posisi Singleton Sumbu } X_i)}{\sum_i (\text{Keluaran Fuzzy}_i)}$$

Untuk contoh yang diilustrasikan pada gambar 2.27 adalah :

$$\text{Keluaran Crisp ( } y) = \frac{(0) \cdot (0) + (0.25) \cdot (30) + (0.75) \cdot (60)}{0 + 0.25 + 0.75} = 52.5$$



Gambar 2.27. Center Of Gravity

Catat bahwa secara intuitif anda akan berharap bahwa keluaran defuzzified akan mendekati 60 daripada ke 0. Catat juga bahwa perhitungan intensif yang kurang berarti dibandingkan dengan metode yang dijelaskan sebelumnya.

Ada syarat dalam mengadopsi set fuzzy yang umum atau singleton untuk menggambarkan variable keluaran. Selama defuzzifikasi menggunakan COG, singleton sedikit membutuhkan waktu komputasi, namun set non-singleton mungkin memberikan keluaran lebih konsisten dengan yang anda harapkan untuk kontrol yang lebih detail.

Bagian metodologi dari program ini akan menghadirkan petunjuk untuk memilih metode defuzzifikasi yang lebih cocok untuk sebuah aplikasi. Metode defuzzifikasi yang umum adalah (COG) keluaran fungsi keanggotaan bentuk tidak tertentu (COG) keluaran fungsi keanggotaan bentuk singleton

## 2.5 Pengulangan Proses

Aplikasi logika fuzzy dapat menyederhanakan masalah – masalah pengontrolan. Untuk menyegarkan ingatan, nilai masukan crisp menentukan rule yang mana yang diplikasikan serta nilai derajatnya. Perubahan kecil dalam nilai masukan crisp akan memberikan hasil dalam perubahan kecil dari aplikasi derajat rule. Seiring perubahan masukan crisp, rule yang baru dapat mulai diaplikasikan sebagai pengganti berkurangnya kepentingan rule yang lama. Perubahan ini kecil sekali dan sering memberikan kinerja sistem yang lebih unggul.

Rule memberikan gambaran intuitif untuk perilaku sistem. Hal ini dapat menggantikan alternatif konvensional yang kompleks yang mengandung komputasi intensif berdasarkan pada properti fisik yang mengatur perilaku tersebut. Pengurangan kekompleksan matematis ini dapat memberikan anda kemampuan dalam meningkatkan feature produk tanpa menambah ongkos. Sejak jumlah rule menjadi sedikit (sering kurang dari 20), waktu pengembangan berkurang dan perusahaan anda dapat memasuki pasar dengan lebih cepat.

Sekali lagi tiga langkah utama dalam memproses logika fuzzy adalah sebagai berikut :

- Fuzzyfikasi – proses memetakan nilai masukan sistem kedalam masukan fungsi keanggotaan untuk menentukan resultan nilai kebenaran untuk setiap label (fungsi keanggotaan), hasilnya adalah masukan fuzzy.
- Evaluasi Rule – Perhitungan relatif yang dapat digunakan, atau “nilai kebenaran” tiap rule. Dalam inferen MIN-MAX, hal ini sama dengan nilai minimum antecedent (masukan fuzzy) untuk rule tersebut. Keluaran fuzzy dihitung dengan menentukan nilai maksimum rule strength untuk tiap label keluaran.
- Defuzzyfikasi COG – Proses penghitungan center of gravity (COG) seluruh keluaran fuzzy untuk variabel keluaran yang diberikan untuk menentukan besarnya nilai keluaran crisp.