

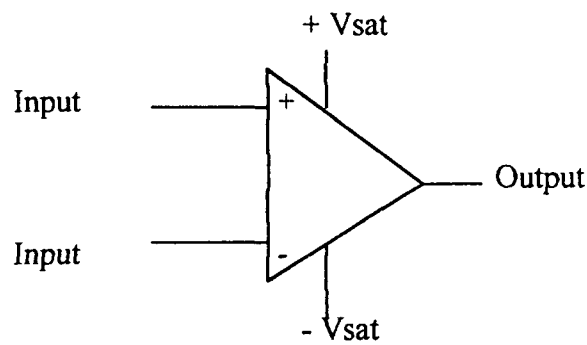
II. TEORI PENUNJANG

1. PENGUAT (AMPLIFIER)¹

Amplifier atau lazimnya disebut penguat, dalam suatu rangkaian dapat difungsikan sebagai rangkaian penguat sinyal input, rangkaian penjumlahan tegangan input, rangkaian pembanding antara 2 sinyal input, rangkaian filter dan masih banyak lagi.

Rangkaian penguat ini sangat sederhana dalam pemakaiannya baik cara merangkainya maupun penggunaannya. Terdiri dari kombinasi antara penguat operasional (Operational Amplifier/Op-Amp) yang dirangkai bersama komponen pasif tahanan atau condensator. Dengan kombinasi tersebut diatas maka operational amplifier (Op-Amp) dapat dikembangkan lagi menjadi rangkaian yang mempunyai spesifikasi khusus seperti rangkaian instrumentasi, rangkaian oscilator dan sebagainya. Gambar 2.1 memperlihatkan simbol dari Op-Amp dengan lima terminal dasar terdiri dari 2 terminal catu daya, 2 terminal masukan (+) dan masukan (-) dan 1 terminal output atau keluaran dari Op-Amp.

¹ R.F. Coughlin & F.F. Dricoll, Ir. Berman W.D. Penguat Operasional Dan Rangkaian Terpadu Linear. Jakarta : Erlangga. 1983.



Gambar 2.1

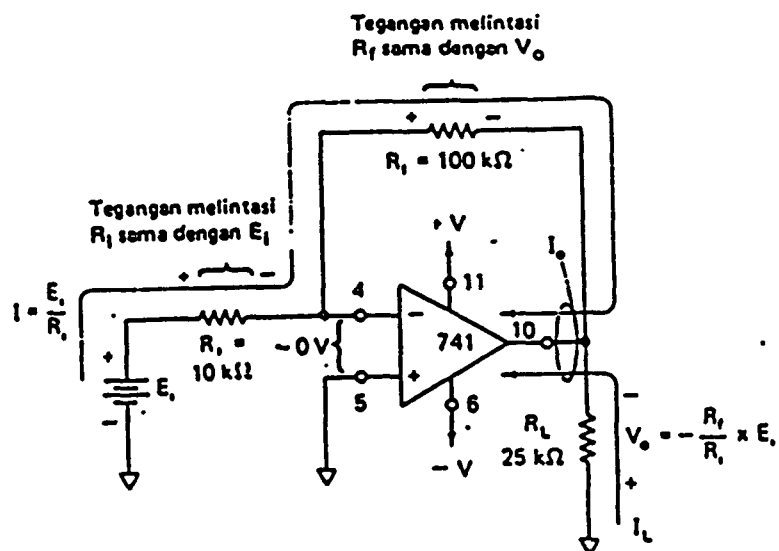
Simbol Op-Amp

1.1 Penguat Pembalik (Inverting Amplifier)

Telah diterangkan diatas bahwa salah satu pemakaian Op-Amp adalah sebagai penguat. Penguat adalah suatu rangkaian yang menerima sinyal input dan menghasilkan sinyal output yang tidak berubah serta menjadi lebih besar. Dalam Tugas Akhir ini yang akan dibahas adalah mengenai penguatan dengan penambahan komponen, hal ini disebabkan karena dengan menggunakan penguatan ini hasil output akan dicapai seoptimum mungkin, artinya dapat disesuaikan dengan keadaan rangkaian lainnya.

Dasar dari rangkaian penguat ini adalah dengan memberi tahanan umpan balik antara terminal output dengan terminal input (-). Dengan demikian penguatan tidak lagi mengandalkan dari karakteristik Op-Amp (A_{ol}) tetapi sudah tergantung dari besar tahanan umpan balik terhadap tahanan input yang ada di terminal input (-). Gambar 2.2 memperlihatkan rangkaian dasar

penguat pembalik (Inverting Amplifier). Prinsip kerja dari gambar 2.2 tegangan positif E_i melewati tahanan R_1 masuk ke terminal input (-) Op-Amp. Tahanan umpan balik R_f menghubungkan antara terminal output Op-Amp dengan terminal input (-) Op-Amp. Tegangan terminal bila Op-Amp ideal, maka tegangan-tegangan tersebut terhadap ground masing-masing harganya sama dengan 0 volt.



Gambar 2.2²

Rangkaian Penguat Pembalik

² Ibid, hal 33

Arus yang melewati tahanan R_1 dapat dihitung berdasarkan hukum Kirchoff sebesar :

$$I = \frac{E_1}{R_1} \quad \text{amp} \dots\dots\dots(2-1)$$

Arus I akan melewati tahanan umpan balik R_f menuju terminal output, dengan melewati tahanan R_f ini maka besar tegangan di tahanan R_f dapat diketahui sebesar :

$$V_{Rf} = I \cdot R_f \quad \text{volt} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan (2-1) terhadap persamaan (2-2) akan menghasilkan :

$$V_{Rf} = \frac{E_1}{R_1} \cdot R_f \quad \text{volt} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dari gambar 2.2 bahwa ujung R_f dan R_1 saling berhubungan menjadi satu menyebabkan besar tegangan V_0 mempunyai polaritas terbalik terhadap tegangan V_{Rf} bila diukur terhadap ground dengan besar tegangan sama, maka tegangan V_0 besarnya :

$$V_0 = -V_{Rf} = -\frac{E_1}{R_1} \cdot R_f \quad \text{volt} \dots\dots\dots(2-4)$$

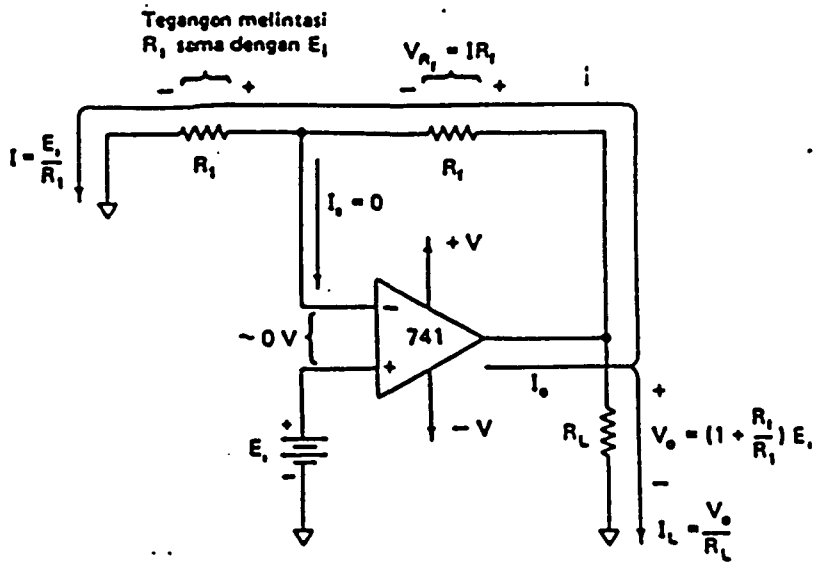
Dengan mengambil definisi dari penguatan A_{cl} yaitu tegangan output (V_0) dibagi tegangan input (E_1) maka besar A_{cl} :

$$A_{cl} = \frac{V_0}{E_1} = - \frac{R_f}{R_1} \dots\dots\dots(2-5)$$

Tanda minus pada persamaan (2-4) dan (2-5) menunjukkan bahwa polaritas tegangan V_0 berlawanan dengan polaritas tegangan input (E_1). Untuk itu rangkaian ini disebut rangkaian penguat pembalik (Inverting Amplifier).

1.2 Penguat Tidak Membalik (Non Inverting Amplifier)

Selain digunakan sebagai rangkaian penguat pembalik Op-Amp dapat pula digunakan sebagai rangkaian penguat tak membalik (Non Inverting Amplifier), yaitu sebagai penguat dimana tegangan output sephase dengan tegangan inputnya seperti gambar 2.3. Bila tegangan antara terminal input (-) dengan terminal input (+) menunjukkan nol volt, hal ini akan menyebabkan besar tegangan input (-) sama dengan besar tegangan input (+) terhadap ground yaitu sebesar E_1 volt.



Gambar 2.3³

Rangkaian Penguat Tak Membalik

Arus akan melintasi tahanan R_1 , dengan besar arusnya sama dengan :

$$I = \frac{E_1}{R_1} \text{ amp} \dots\dots\dots(2-6)$$

Arah arus tergantung dari polaritas tegangan E_1 , arus akan melewati tahanan umpan balik R_f , maka tegangan ditahanan R_f diperoleh :

$$V_{Rf} = I \cdot R_f \text{ volt} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan (2-6) dengan persamaan (2-7), akan didapat :

³ Ibid, hal 47

$$V_{Rf} = \frac{R_f}{R_1} \cdot E_1 \quad \text{volt} \dots \dots \dots (2-8)$$

Tegangan output V_0 , dapat diperoleh dari tegangan di R_1 ditambah tegangan di R_f yaitu :

$$V_0 = E_1 + V_{Rf}$$

$$V_0 = E_1 + \frac{R_f}{R_1} \cdot E_1 \quad \text{volt} \dots \dots \dots (2-9)$$

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot E_1 \quad \text{volt} \dots \dots \dots (2-10)$$

Besar penguatan (gain) adalah tegangan output dibanding dengan tegangan inputnya, akan diperoleh :

$$\begin{aligned} A_{cl} &= \frac{V_0}{E_1} \\ &= \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \dots \dots \dots (2-11) \end{aligned}$$

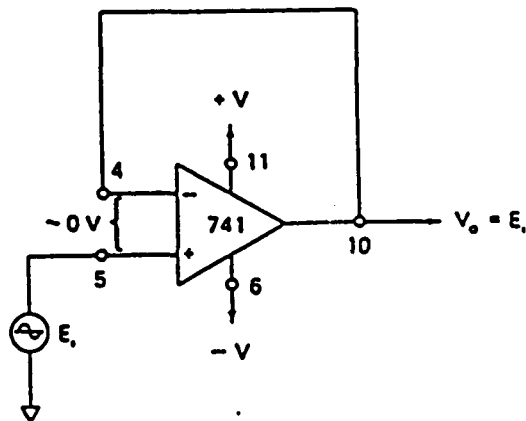
1.3 Pengikut Tegangan (Voltage Follower)

Pembebanan dari suatu rangkaian terhadap input rangkaian lain bila tidak seimbang artinya lebih tinggi dari yang diisyaratkan oleh pabrik pembuat komponen, akan mempengaruhi kerja dari komponen bahkan rangkaiannya sendiri.

Untuk mengatasi masalah beban ini dapat dipergunakan suatu rangkaian pengikut tegangan (Voltage Follower) sebagai pengaman rangkaian tersebut. Rangkaian pengikut tegangan ini disebut juga sebagai rangkaian penguatan satu, penguat isolasi atau penguat penyangga seperti gambar 2.4

Tegangan input dihubungkan ke terminal input (+), dimana antara tegangan terminal input (+) dengan terminal (-) besar tegangannya sama, maka besar tegangan output V_0 adalah :

$$V_0 = E_1 \dots\dots\dots(2-12)$$



Gambar 2.4⁴

Rangkaian Pengikut Tegangan

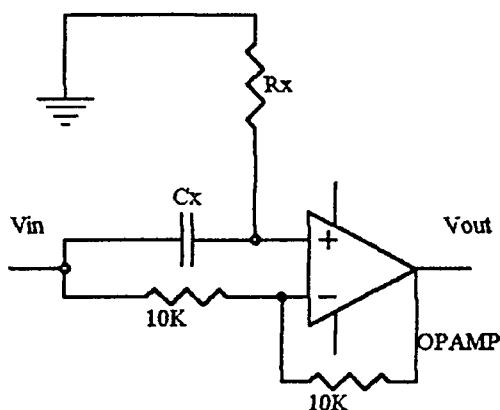
⁴ Ibid, hal 42

Dari persamaan (2-12), terlihat bahwa besar tegangan output sama besarnya dengan tegangan inputnya, maka dikatakan rangkaian ini rangkaian pengikut tegangan (Voltage Follower). Sedang penguatan (Gain) diperoleh berdasarkan tegangan output dibandingkan dengan tegangan input atau dapat dituliskan :

$$A_{cl} = \frac{V_o}{E_1} = 1 \dots\dots\dots(2-13)$$

1.4 Rangkaian Dasar Penggeser Fasa

Berikut adalah gambar rangkaian penggeser fasa dimana pergeseran fasa antara 0 sampai dengan 180 derajat. Besar Amplitudo $V_{out} = V_{in}$.



Gambar 2.5.⁵

Rangkaian Dasar Penggeser Fasa

⁵ Fredrick W. Hughes. Panduan Op-Amp. Jakarta ; Elex Media Komputindo, 1982

Besar kecil derajat pergeseran (θ) dari fasa V_{out} adalah tergantung dari harga C_x dan R_x .

$$\theta \approx -2 \arctan . 2\pi f . C_x . R_x^6$$

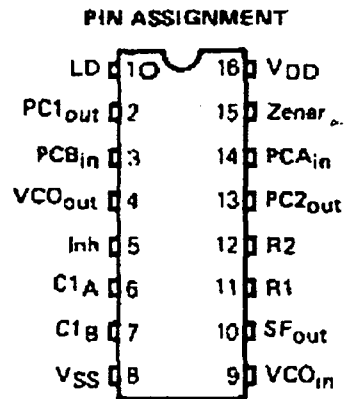
2. VOLTAGE CONTROL OSCILATOR (VCO).

Sebagai pembangkit gelombang persegi atau clock 2 maka digunakan Voltage Control Oscilator yang diatur dari Fuzzy Logic Controller, digunakan IC MC14046B Phase locked loop berisi 2 buah komparator fasa, sebuah voltage control oscilator (VCO), pengikut arus, dan sebuah zener diode. Untuk keperluan ini, maka hanya menggunakan Voltage Control Oscilatornya saja sedangkan Phase locked loopnya tidak digunakan.

Voltage Control Oscilator yang linear menghasilkan signal output VCO_{out} dimana besar frekuensi ditentukan oleh tegangan input VCO_{in} dan besar kapasitor dan resistor-resistor yang dihubungkan pada pin C1A, C1B, R1 dan R2. Keluaran dari pengikut arus SF_{out} dengan resistor luar digunakan bila signal VCO_{in} diperlukan tetapi tidak ada beban yang dapat ditoleransi, atau dapat dikatakan tegangan dalam source terlalu tinggi hingga tidak cukup kuat untuk mendrive VCO. Input Inh , bila diberi logic high akan mematikan VCO dan pengikut arus

⁶ Ibid, hal. 298

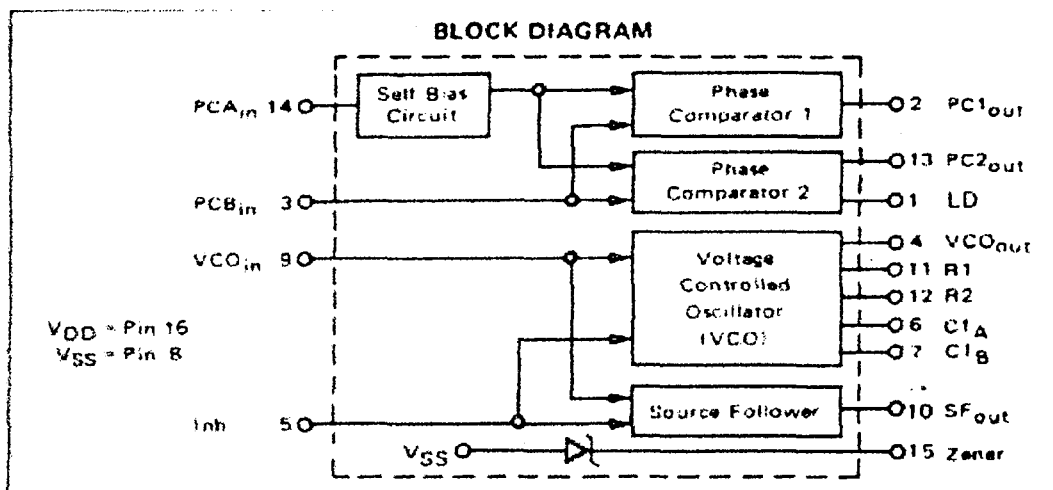
untuk meminimalkan penggunaan power. Fungsi dari zener dioda dapat digunakan untuk membantu regulasi dari power supply.



Gambar 2.6⁷

Pin-Pin Voltage Control Oscillator 4046

⁷ Motorola CMOS Logic Data Book



Gambar 2.7
Blok Diagram Mc14046b

Rumus frekuensi output dari VCO :

$$f_{\min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32 \text{ pF})} \dots\dots\dots (2-19)^8 \quad (V_{CO} \text{ input} = V_{SS})$$

$$f_{\max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32 \text{ pF})} + f_{\min} \dots\dots (2-20)^9 \quad (V_{CO} \text{ input} = V_{DD})$$

Dimana : $10K < R_1 < 1M$

$10K < R_2 < 1M$

$100\text{pF} < C_1 < .01 \mu\text{F}$

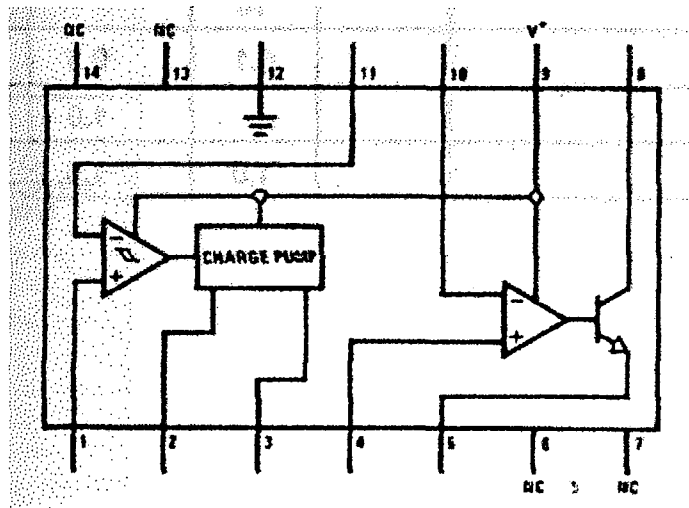
⁸ Ibid, hal 6-121

⁹ Ibid, hal 6-123

3. PERUBAH FREKUENSI KE TEGANGAN

Cara kerja Perubah Frekuensi ke Tegangan atau Frekuensi Control Voltage berikut ini adalah merupakan kebalikan dari Variabel Control Oscilator (VCO) yaitu merubah masukan frekuensi menjadi tegangan. Dengan menggunakan LM 2907 yang merupakan pengubah frekuensi menjadi tegangan dengan op amp yang memiliki gain yang besar, selain itu memiliki keuntungan bila frekuensi input nol maka output menjadi ground.

Jenis op-amp ini sangat kompatibel dengan tachometer dan memiliki floating transistor sebagai outputnya. Fungsi ini dapat memperbolehkan ground atau supply untuk beban sampai dengan 50mA. Kaki collector dapat mencapai tegangan maksimum dari VCE yaitu 28 Volt.



Gambar 2.8¹⁰

Ic LM2907N Dengan Pin-Pinnya

¹⁰ National Semiconductor Databook, hal 3-247

Rumus tegangan output dari Pengubah frekuensi ke tegangan adalah :

$$V_{OUT} = F_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1 \dots\dots\dots(2-21)^{11}$$

Untuk pemilihan R1 dan C1 ada beberapa batasan untuk menentukan nilai dari R1 dan C1 dimana harus selalu diperhatikan pada penggunaan optimum. Waktu dari kapasitor juga merupakan kompensasi internal dari charge pump dan nilai kapasitansinya harus selalu lebih besar dari 500 pF untuk operasi yang akurat. Nilai kapasitansi yang lebih kecil akan menyebabkan arus yang salah pada R1, terlebih pada suhu yang rendah. Beberapa kondisi harus diperhatikan dalam memilih R1. Bila R1 terlalu besar akan menyebabkan perubahan yang signifikan pada impedansi output pada pin 3, sehingga mengurangi kelinearitasannya. Juga tegangan ripple output harus diperhatikan dan nilai dari C2 adalah sangat dipengaruhi oleh R1. Ekspresi yang menyebutkan besar ripple pada pin 3 untuk sebuah kombinasi tunggal R1C2 adalah :

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{CC} \times f_{IN} \times C1}{I2} \right)_{pk} -_{pk} \dots\dots\dots(2-22)^{12}$$

¹¹ Ibid, hal 3-247

¹² Ibid, hal 3-248

Dari rumus atas terlihat bahwa R1 dapat dipilih sesuka tanpa mempengaruhi dari ripple, namun bagaimanapun waktu response atau waktu yang dibutuhkan VOUT untuk stabil pada perubahan tegangan yang baru bertambah bila nilai dari C2 juga bertambah. Maka dari itu keseimbangan antara ripple, waktu respons, dan kelinearitasan perlu diperhatikan dengan seksama.

Pada akhirnya frekuensi masukan yang dapat diterima sangat ditentukan oleh VCC, C1 dan I2 :

$$F_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}} \dots\dots\dots(2-23)^{13}$$

4. FUZZY LOGIC CONTROLLER

4.1 Pendahuluan

Pada akhir-akhir ini sistem kontrol mengalami kemajuan yang sangat pesat ini dikarenakan oleh adanya sistem Fuzzy Logic yang ditemukan oleh Profesor Lotfi Zadeh dari University of California di Berkeley pada pertengahan tahun 1960. Hal ini dikarenakan keunggulan yang dimiliki oleh sistem fuzzy logic dibandingkan dengan sistem benar atau salah konvensional biasa. Sistem fuzzy memiliki keunggulan dia memiliki bermacam-macam nilai (multivalued)

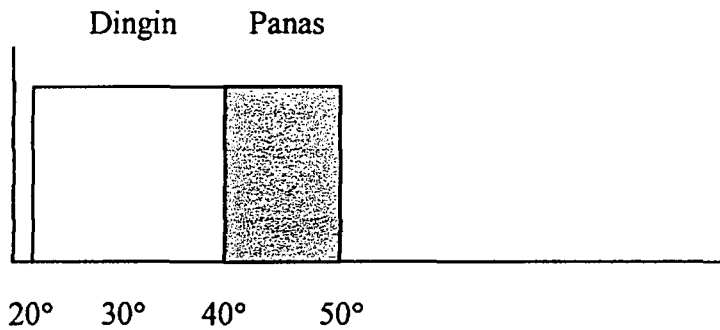
¹³ Ibid, hal 3-248

sebagai pengganti 100% ini atau 100% itu, meskipun demikian sistem fuzzy dapat juga untuk menyatakan sepenuhnya benar atau sepenuhnya salah, bergantung pada Derajat keanggotaan dan derajat kebenarannya, maka dari itu sistem fuzzy dapat menyatakan sesuatu hal itu sebagian benar dan sebagian salah pada saat yang sama.

Dalam beberapa dekade terakhir ini sistem fuzzy telah digunakan untuk memecahkan bermacam-macam problem, termasuk proses kontrol, pengenalan pattern, klasifikasi, management, pembuatan keputusan, dan bermacam-macam aplikasi lainnya.

Untuk lebih dapat melihat perbedaan antara sistem kontrol konvensional dengan sistem fuzzy logic control, kita ambil contoh permasalahan sebagai berikut : umumnya suhu ruangan kita sekitar 28°C dan kita hendak mendefinisikan bahwa suhu diatas 40°C adalah panas, dengan sistem kontrol konvensional maka suhu $39,9^{\circ}\text{C}$ akan dianggap sebagai dingin dan suhu $40,01^{\circ}\text{C}$ dianggap sebagai panas, hal ini tentu akan sangat merugikan dikarenakan perbedaan suhu yang sangat kecil pada sistem dapat menyebabkan perbedaan reaksi yang sangat.

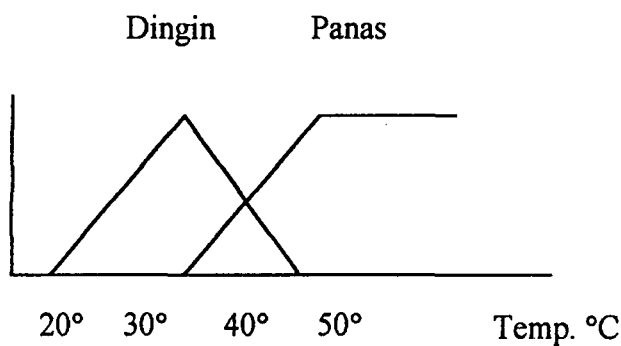
Pada gambar dibawah ini dapat kita lihat perbedaan himpunan sistem konvensional dan himpunan sistem fuzzy :



Gambar 2.9

Himpunan Konvensional

Pada gambar jelas terlihat bahwa suhu $39,9^{\circ}\text{C}$ dan suhu $40,01^{\circ}\text{C}$ berada pada dua set yang berbeda. Dengan sistem kontrol Fuzzy Logic bila ada sedikit perubahan temperatur akan menghasilkan perubahan yang lebih mulus pada performa sistem. Hal ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

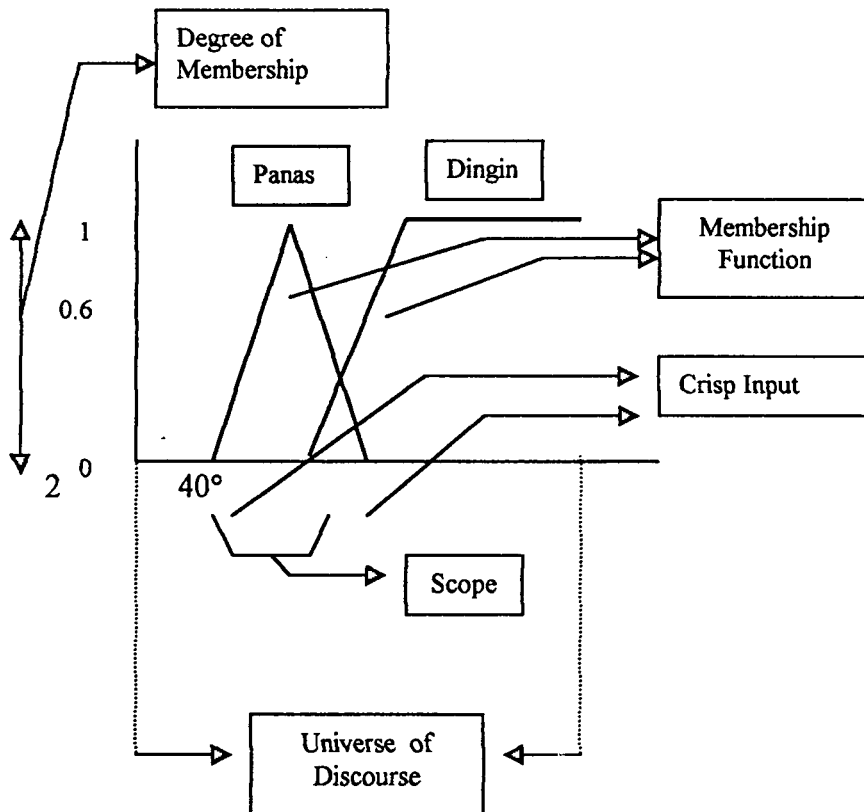


Gambar 2.10

Himpunan Fuzzy

Berbeda dengan sistem kontrol konvensional disini suhu 39,9 dan suhu 40,01 berada dalam himpunan derajat yang sama.

Bagian-bagian penting dalam Fuzzy Logic adalah :



Gambar 2.11

Bagian-Bagian Penting Dalam Fuzzy Logic

Berikut adalah keterangan-keterangan dari gambar diatas :

- *Crisp Input (Masukan) :*

Masukan dari sistem kontrol fuzzy logic

- *Membership Function :*

Dikenal juga dengan Fuzzy set, yang merupakan fungsi matematika yang memberikan arti numeris, menghubungkan antara crisp input dengan degree of membershipnya.

- *Label :*

Untuk mendeskripsikan nama yang sesuai untuk keadaan sehari-hari untuk mengidentifikasi sebuah fungsi membership (membership function). Misal untuk input variable suhu maka label yang digunakan adalah panas, hangat, normal, sejuk, dan dingin.

- *Degrees of Membership (Derajat Keanggotaan) :*

Merupakan derajat kebenaran atau membership grade dari nilai crisp input yang telah dihubungkan dengan membership functionnya yang nilainya antara 0 sampai dengan 1.

- *Scope / Domain :*

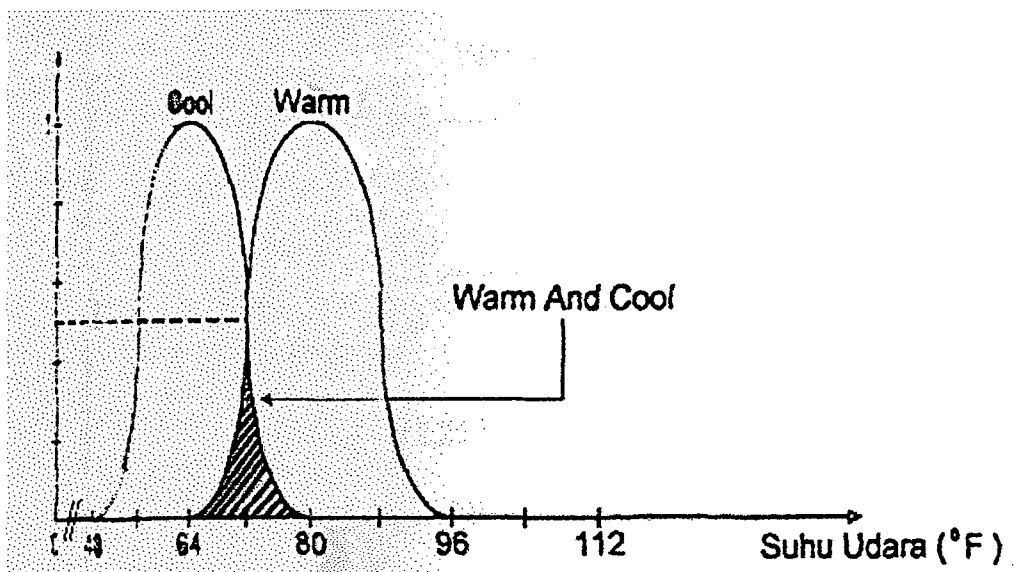
Merupakan lebar dari membership function, range dari konsep, biasanya angka-angka dimana membership function di mapped. Untuk contoh gambar diatas Domainnya adalah 20° hingga 40° dan Scopanya adalah 20°

- *Universe of Discourse*

Daerah semesta dari crisp input.

4.2 Sifat-Sifat Logika Fuzzy

Seperti dalam logika Boolean, maka dalam logika Fuzzy terdapat hubungan antara Fuzzy set yang satu dengan lainnya seperti hubungan 'AND', 'OR' dan 'NOT'. Hubungan ini dapat dilihat seperti yang terlihat pada gambar-gambar berikut



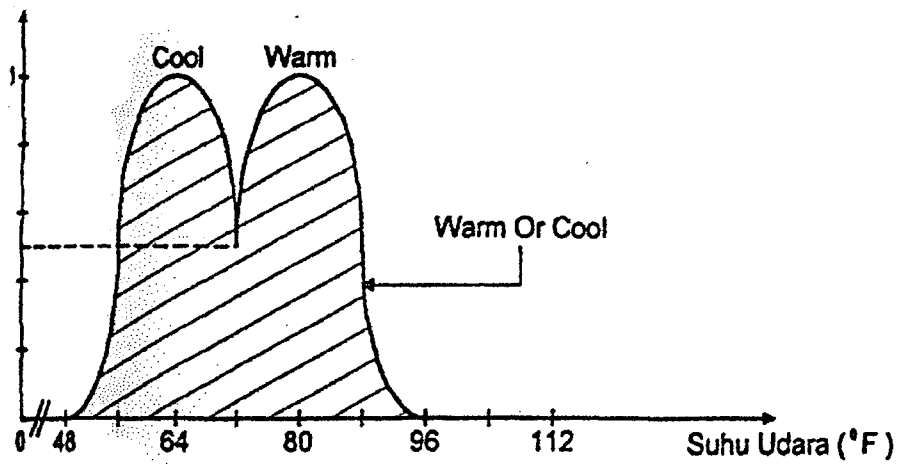
Gambar 2.12 ¹⁴

Hubungan AND

Bentuk hubungan matematis dari logika operasi AND (Conjunction atau Intersection) adalah sebagai berikut :

$$\mu_{\text{warm} \cap \text{cool}} \equiv \text{MIN} [\mu_{\text{warm}(t)}, \mu_{\text{cool}(t)}]$$

¹⁴ Pen Well Pub, Co. Fuzzy Logic '95. Proceedings. 1995



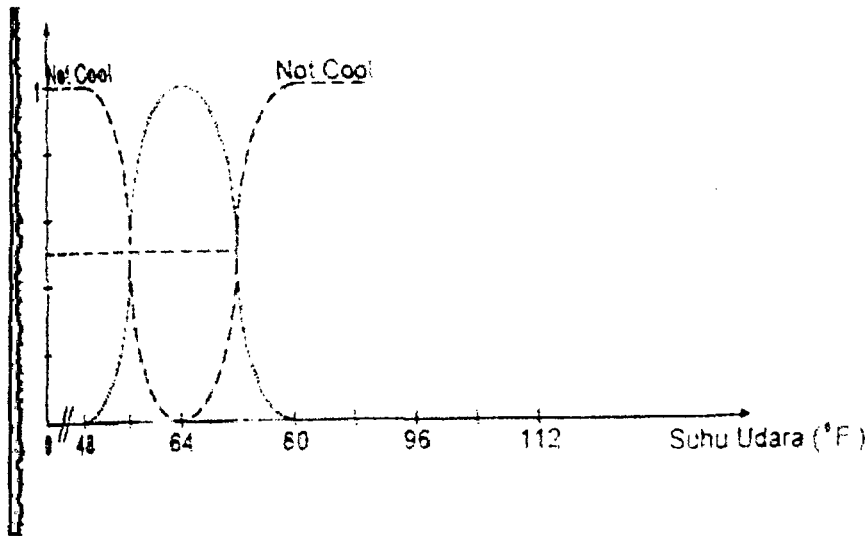
Gambar 2.13¹⁵

Hubungan OR

Bentuk persamaan matematis dari logika operasi OR (Union) adalah sebagai berikut

$$\mu_{\text{warm} \cup \text{cool}} \equiv \text{MAX} [\mu_{\text{warm}(t)}, \mu_{\text{cool}(t)}]$$

¹⁵ Ibid, hal 1.9

Gambar 2.14¹⁶

Hubungan NOT

Bentuk persamaan matematis dari logika operasi NOT (Complement) adalah sebagai berikut :

$$\mu_{\text{NOT Cool}} \equiv 1 - \mu_{\text{cool}(t)}$$

4.2.1 Himpunan fuzzy

Suatu himpunan Fuzzy F dalam suatu semesta X didefinisikan sebagai kumpulan pasangan elemen x dan fungsi keanggotaan $\mu_f(x)$ mempunyai nilai dalam interval $(0,1)$ pada tiap x dalam X . Nilai fungsi

¹⁶ Ibid, hal 1.10

keanggotaan menunjukkan tingkat keanggotaan elemen x dalam F , bila $\mu_f(x) = 1$ menunjukkan x merupakan anggota penuh F , sedang $\mu_f(x) = 0$ menunjukkan x bukan anggota F .

Secara umum himpunan Fuzzy dirotasikan sebagai :

$$F = \{ (x, \mu_f(x)) \quad x \in X \}$$

Bila x diskrit dengan n elemen, F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \mu_1(x)/x_1 + \mu_2(x)/x_2 + \dots + \mu_n(x)/x_n$$

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_f(x_i)/x_i$$

Bila x kontinyu, F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = \int \mu_f(x)/x$$

Dalam himpunan Fuzzy F , x disebut pendukung F . Untuk elemen x dimana $\mu_f(x) = 0,5$ disebut titik silang (cross over). Himpunan Fuzzy yang mempunyai pendukung tunggal dengan $\mu_f(x) = 1,0$ disebut Fuzzy tunggal.

4.2.2. Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy

Untuk menyatakan suatu fungsi keanggotaan dalam pendefinisian himpunan Fuzzy tergantung pada bentuk yang akan digunakan. Secara umum ada dua metode yaitu pendefinisian secara numerik dan bentuk fungsi. Pendefinisian secara numerik diterapkan

atas himpunan dengan pendukung diskrit, sedangkan pendefinisian bentuk fungsi diterapkan pada pendukung kontinyu.

4.2.3. Definisi bentuk numerik

Fungsi keanggotaan yang didefinisikan secara numerik menggunakan pendukung diskrit. Selain itu dapat juga menggunakan nilai keanggotaan dari bentuk fungsi yaitu dengan mengambil nilai bentuk fungsi untuk tiap pendukung yang berhingga jumlahnya.

Contoh :

$$X = \{ 8,9,10,11,12 \}$$

$$\mu_f(x) = \{ 0,5,0,8,1,0,0,8,0,5 \}$$

maka himpunan Fuzzy yang didefinisikan untuk himpunan elemen X diatas adalah :

$$F = \{ 0,5/8;0,8/9;1,0/10;0,8/11;0,5/12 \}$$

4.2.4 Definisi Bentuk Fungsi

Fungsi keanggotaan yang didefinisikan dalam bentuk fungsi digunakan pada pendukung kontinyu. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan dalam himpunan Fuzzy, tetapi bentuk fungsi yang sering digunakan adalah :

a. Fungsi eksponensial :

$$\mu_f(x) = \exp \left(-\frac{(x-2)^2}{2\sigma^2} \right)$$

b. Fungsi segitiga :

$$\mu_f(x) = 1 - \left(\frac{\sqrt{(x-a)^2}}{b} \right)$$

c. Fungsi trapesium :

$$\mu_f(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq (x-a) \leq b/2 \\ 2 - 2 \left(\frac{\sqrt{(x-a)^2}}{b} \right) & ; b/2 < (x-a) \leq b \end{cases}$$

4.2.5 Variabel Linguistik

Pendekatan dengan himpunan Fuzzy untuk merepretasikan cara berfikir manusia memerlukan variabel linguistik sebagai ganti dari variabel numerik yang biasa digunakan dalam pendekatan kuantitatif. Variabel linguistik ini berupa ungkapan-ungkapan yang bersifat kualitatif dan berfungsi untuk menyatakan himpunan Fuzzy. Dalam berfikir

manusia menggunakan ungkapan yang bersifat kualitatif terhadap informasi-informasi yang diinderanya. Ungkapan-ungkapan kualitatif ini terus menyertai proses berfikir manusia sampai diperoleh pengambilan keputusan yang diungkapkan secara kualitatif juga. Sebagai contoh seorang operator yang tengah mengatur suatu proses secara manual akan menggunakan ungkapan-ungkapan seperti tinggi, agak rendah, sedang, mendekati maksimum, sekitar set point dan sebagainya. Ungkapan ini mendefinisikan himpunan-himpunan Fuzzy atas besaran-besaran proses yang sedang dalam fikirannya.

Dalam bentuk sederhana variabel linguistik dapat dinyatakan dengan pasangan $(u, T(u), X)$, dimana u menunjukkan nama variabel dan $T(u)$ adalah istilah yang menyatakan himpunan u yaitu seperangkat nama-nama nilai linguistik himpunan Fuzzy atas semesta x sebagai contoh misalkan variabel level akan dinyatakan dengan variabel linguistik, maka perangkat istilah $T(\text{level})$ dapat dituliskan :

$$T(\text{level}) = \{ \text{rendah, sedang} \}$$

misalkan variabel linguistik didefinisikan untuk semesta $X = \{ 0, 150 \}$. Dalam semesta ini, rendah terletak disekitar 50 mm dan sedang disekitar 100 mm. Bila fungsi segitiga digunakan untuk mendefinisikan secara fungsional kedua himpunan ini maka cara menyatakannya menjadi :

rendah :

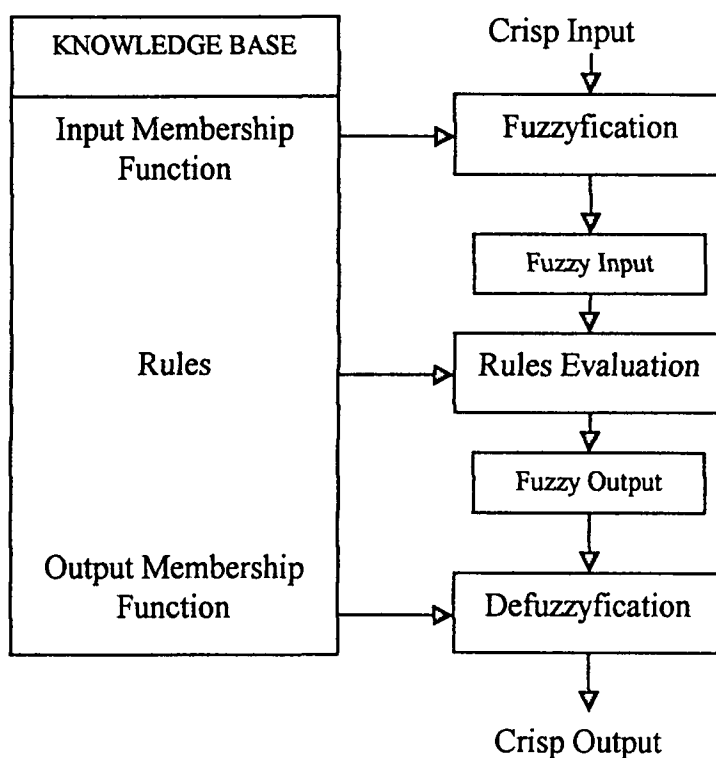
$$\mu_f(x) = 1 - \frac{\sqrt{(x-50)^2}}{b}$$

sedang :

$$\mu_f(x) = 1 - \frac{\sqrt{(x-100)^2}}{b}$$

dimana $x \in X$. Harga b dipilih sedemikian rupa sehingga titik silang (cross over) terletak dititik $x = 75$ mm, yaitu pendukung dengan nilai keanggotaan $\mu(75) = 0,5$ baik pada himpunan rendah maupun sedang.

Konsep dasar untuk perancangan dari Sistem Kontrol Fuzzy Logic dapat dilihat pada gambar 2.15 berikut :



Gambar 2.15

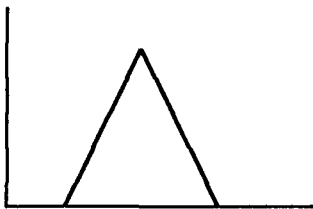
Konsep Dasar Sistem Kontrol Fuzzy Logic

4.3 Fuzzyfication

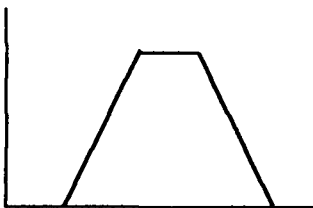
Langkah pertama dalam pendesainan sistem kontrol fuzzy logic adalah Fuzzyfication. Fuzzyfication ini adalah suatu proses perubahan dari crisp input menjadi fuzzy input, untuk kemudian akan diolah secara fuzzy pada proses berikutnya. Sebagai contoh sebuah crisp input 60°C ditransformasi menjadi “hangat” atau kecepatan 100 km/jam ditransformasi menjadi “cepat” dan sebagainya.

Langkah pertama dalam proses fuzzyfication adalah untuk menentukan fuzzy label dalam daerah semesta dari crisp input. Berikutnya adalah menentukan membership function. Membership function sendiri memiliki berbagai macam bentuk diantaranya :

- Triangles (segitiga), bentuk ini yang sering dipakai



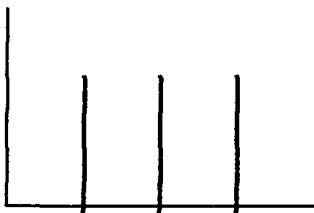
- Trapezoid, bentuk inipun sering dipakai



- Kurva S dan Z



- Singleton, hanya ada satu elemen pada tiap set



Gambar 2.16

Macam-macam bentuk membership function

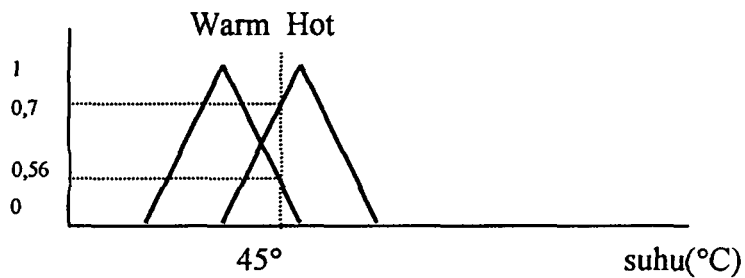
4.4 Rules Evaluation

Pada tahap kedua proses fuzzy logic adalah Rules evaluation, Rule adalah berisi satu atau lebih variabel Fuzzy dan sebuah nilai aksi ke outputnya. Rule dipakai untuk memberitahu ke controller bagaimana menanggapi perubahan input data.

Processor fuzzy, menggunakan rules untuk mengungkapkan aksi kontrol apa yang diinginkan bila diberi suatu nilai input. Pada tahap ini kita akan memasukkan hubungan antara crisp input dengan output yang

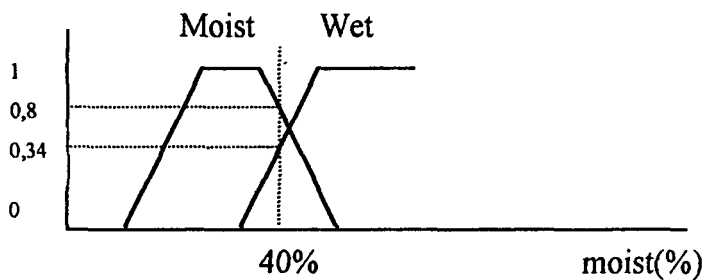
Untuk selanjutnya dapat kita perhatikan pengaruh dari crisp input pada rule-rule ini :

Kita ambil contoh crisp input untuk temperatur = 45°C dan humidity 40%



Gambar 2.17

Membership Function Dari Suhu



Gambar 2.18

Membership Function Dari Kelembaban

Kedua input ini masuk dalam empat buah rule dan hasil setelah mengalami proses min inference (operasi AND) adalah sebagai berikut :

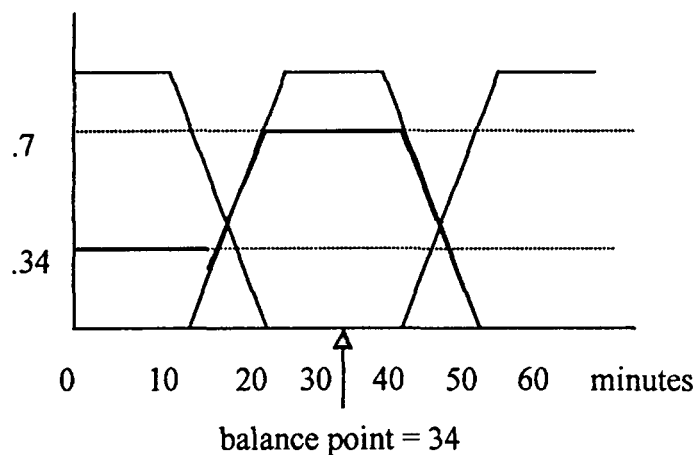
- a. if temperature is warm (0.56) and humidity is moist (0.8) then water duration is medium \rightarrow Rule strength (min inference) : 0,56
- b. if temperature is warm (0.56) and humidity is wet (0.34) then water duration is short \rightarrow Rule strength (min inference) : 0.34
- c. if temperature is hot (0.7) and humidity is moist (0.8) then water duration is medium \rightarrow Rule strength (min inference) : 0.7
- d. if temperature is hot (0.7) and humidity is wet (0.34) then water duration is short \rightarrow Rule strength (min inference) : 0.34

Dari hasil rule evaluation diatas akan dihasilkan fuzzy output dengan menggunakan maximum inference sebagai berikut : water duration adalah 0.7 medium dan 0.34 short. Hasil inilah yang nantinya akan digunakan dalam proses defuzzification selanjutnya.

4.5 Defuzzyfication

Proses defuzzyfication merupakan proses yang menggabungkan fuzzy output dari proses sebelumnya untuk menghasilkan suatu hasil output yang sesuai untuk system yang diharapkan. Metode yang sering dipakai adalah Center Of Gravity (COG) atau centroid dan COG untuk output membership biasanya berbentuk singleton.

Pada proses COG prinsip utamanya adalah kita menghitung pusat berat pada sumbu 'universe of discourse' (sumbu absis) dari output. Sebagai contoh di bawah ini fuzzy output : water duration = 0.7 medium dan 0.34 short, dengan mengkombinasikan bersama membership function dari output maka :



Gambar 2.19
Proses Center Of Gravity

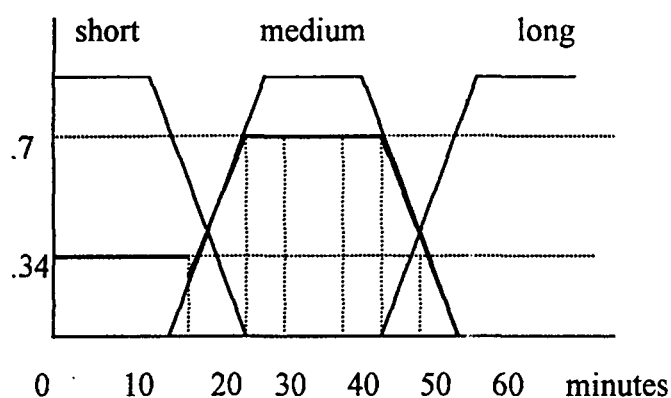
Pada output membership function di atas telah ditemukan balance point yaitu 34 menit untuk output watering duration. Nilai balance point ini sebenarnya diperoleh dari perhitungan matematis centroid sebagai berikut :

$$COG = \frac{\int_a^b \varphi(x).x \, dx}{\int_a^b \varphi(x).x \, dx} \dots\dots\dots(2-24)$$

Namun untuk mempermudah perhitungan dapata kita pilih beberapa titik lalu kita hitung dengan rumus berikut ini :

$$\text{COG} = \frac{\sum \varphi(x) \cdot x}{\sum \varphi(x)} \dots\dots\dots(2-25)$$

sebagai contoh berikut :



Gambar 2.20

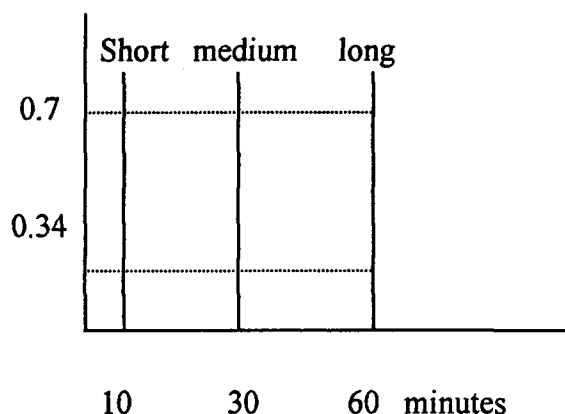
Cara Mengambil Titik Untuk Mpermudah Perhitungan

Misalkan daerah COG diagi menjadi enam bagian sehingga balance point dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{COG} = \frac{(0.34 \times 12) + (0.7 \times 20) + (0.7 \times 35) + (0.7 \times 40) + (0.34 \times 50)}{0.34 + 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.7 + 0.34} = 30.8$$

Cara diatas lebih banyak menghemat waktu

Bentuk kedua yang sering dipakai adalah mengubah membership function dari output sehingga berbentuk singleton, untuk lebih jelasnya berikut adalah contoh :



Gambar 2.21

Penentuan Fuzzy Output Dengan Singleton

Dari perhitungan untuk balance pointnya sebagai berikut :

$$\text{Crisp Output} = \frac{(0.34 \times 10) + (0.7 \times 30)}{0.34 + 0.7} = 23.5$$

Disini terlihat dengan metode COG singleton diatas hasil output agak jauh dibandingkan dengan COG sebelumnya. Oleh karena itu pemakaian antara keduanya haruslah disesuaikan dengan system yang kita buat apakah memerlukan ketelitian dan ketepatan yang tinggi atau tidak.

4.6 NLX 220 ES Fuzzy Logic Controller¹⁷

NLX220 merupakan device yang membentuk kalkulasi logika fuzzy secara langsung di hardware. Karena memang dibuat untuk kontroller, maka mudah dalam pemakaian, performansi, feature, dan tangguh dalam lingkungan yang kasar.

Device ini terdiri dari 4 analog input dan output dengan sumber clock internal.

NLX 220 akan menyerap daya yang rendah saat operasi normal dan mempunyai mode power-down yang akan mengurangi daya dengan faktor 10.

Selain itu NLX 220 memiliki keunggulan-keunggulan sebagai berikut :

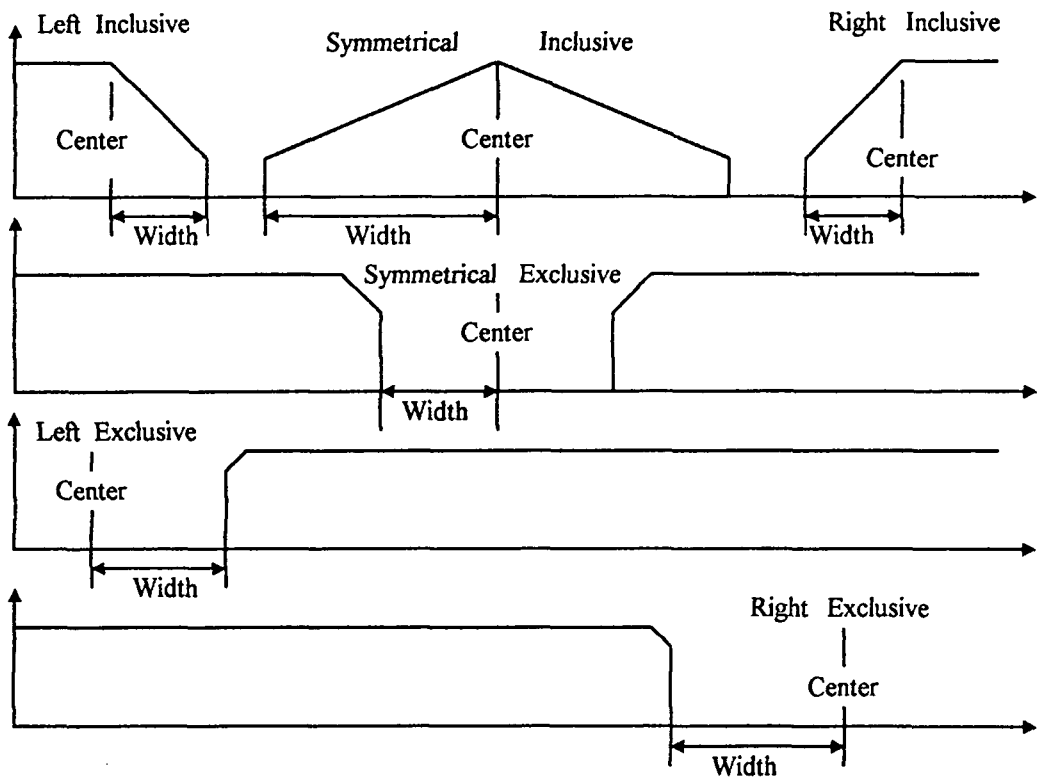
- Sebuah IC kontoller Fuzzy Logic yang lengkap
- Flexibel dan self-adapting
- EEPROM atau OTP (One Time Programming)
- Empat (4) bit input analog
- Empat (4) bit output analog
- Enam (6) tipe Membership Function (MF)
- 111 variabel Fuzzy
- 50 Rules
- PC-based development system

¹⁷ Preliminary Data NLX 220. Neuralogic. 1993.

Sedangkan untuk membership functionnya NLX220 mensupport 6 macam slope:

1. Left Inclusive
2. Symmetrical Inclusive
3. Right Inclusive
4. Symmetrical Exclusive
5. Left Exclusive
6. Right Exclusive

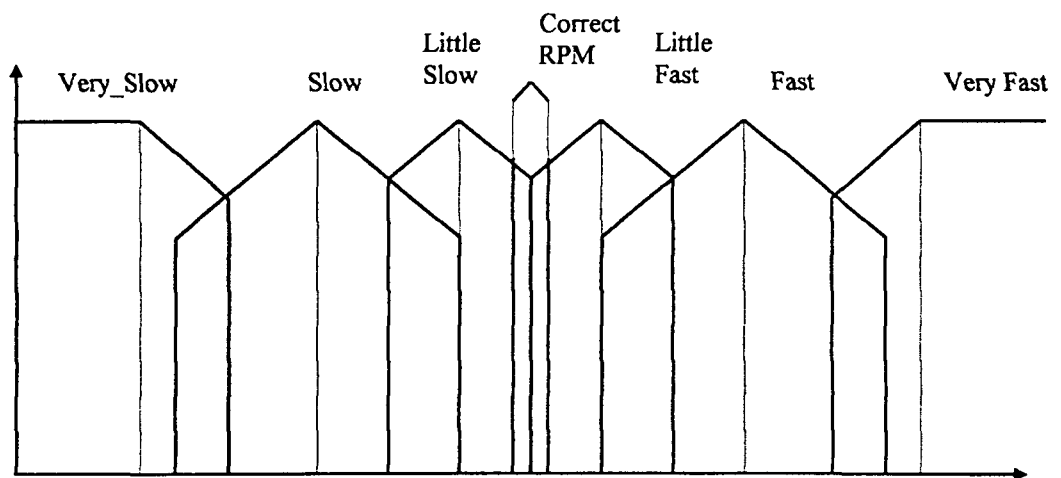
Di dalam aplikasinya didefinisikan dengan nama, tipe bentukannya, dan nilai numerik center dan width-nya. Pemilihan MF harus hati-hati agar dapat menyederhanakan banyak model. Misalnya, dalam termometer Dingin adalah left inclusive dan Panas right Inclusive MF.

Gambar 2.22¹⁸

Jenis-Jenis Membership Function

Ketepatan kontrol pada operating point yang diinginkan dapat diberikan dengan sempitnya Symmetrical Inclusive MF. Aplikasinya kontrol motor, yang perlu sekali kepresisian. Contoh dari gabungan dari tipe dan lebar yang berbeda dipakai untuk memonitor kecepatan motor.

¹⁸ Ibid, hal 2

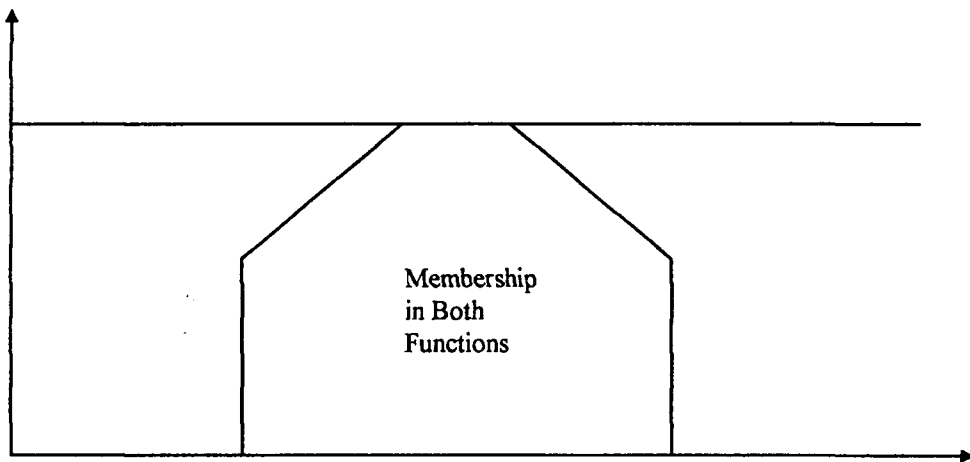


Gambar 2.23¹⁹

Membership Function Untuk Kecepatan

MF dapat di-overlap-kan agar membentuk tipe MF baru seperti trapezoidal, yang merupakan gabungan dari Left Inclusive dan Right Inclusive. Data input yang masuk ke dalam tipe trapezoid adalah member dari kedua MF tersebut.

¹⁹ Ibid, hal 2



Gambar 2.24²⁰

Overlap Dua Membership Function

Variabel Fuzzy adalah ekspresi linguistic yang menunjukkan input bersesuaian dengan MF di sumbu mendatarnya. Variabel Fuzzy berdasarkan pada Membership Function dan Input variabel. Cara penulisan variabel fuzzy dengan masing-masing membership functionnya adalah sebagai berikut :

Variabel fuzzy (center, width, type membership function)

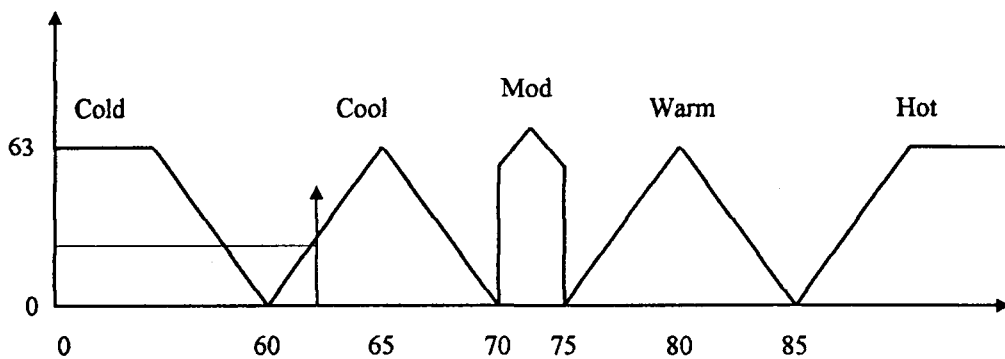
Sebagai contoh adalah berikut :

Temperatur is normal (0, 25, Symmetrical inclusive)

Temperature is warm (12, 25, Symmetrical inclusive)

²⁰ Ibid, hal 3

Hubungannya dikerjakan oleh Fuzzifier, hasilnya adalah data Fuzzy yang menunjukkan derajat mana data input yang sesuai dengan MF. Data Fuzzy adalah numerik dan berkisar antara 0 - 63 di dalam NLX220.



Gambar 2.25²¹

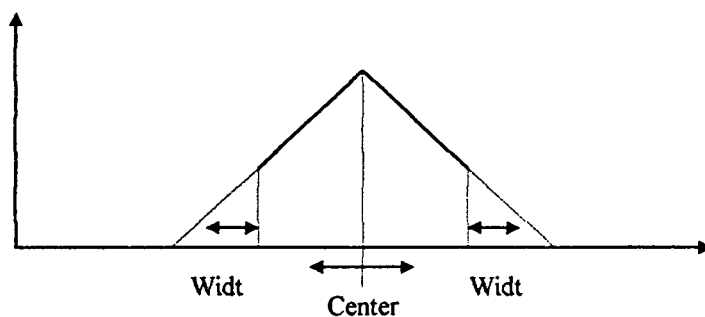
Fuzzifikasi Dari Temperatur Input

4.6.1. Floating membership function

Keistimewaan lain dari NLX 220 ialah NLX 220 mengenal adanya floating membership function. Floating yang dimaksudkan adalah nilai center dan width dari MF dapat dibuat berubah-ubah, yang biasanya

²¹ Ibid, hal 4

adalah nilainya tetap dan disimpan di memori. Di dalam floating membership function nilainya dapat berasal dari input atau output.

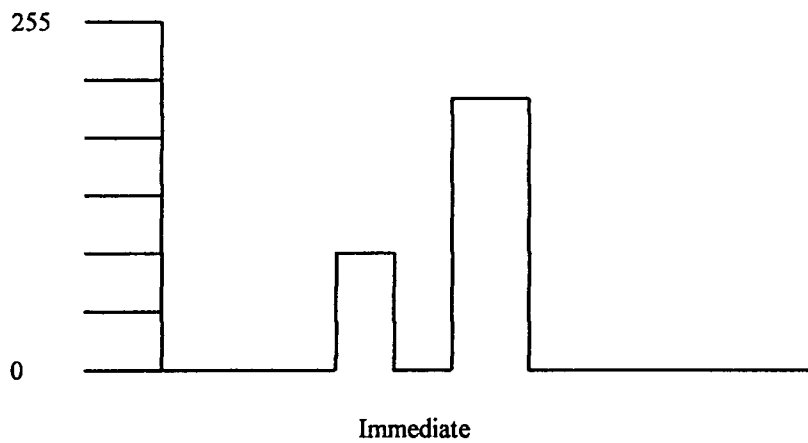


Gambar 2.26

Floating Membership Function.

4.6.2 Metode defuzzifikasi

Hasil defuzzifikasi berpengaruh langsung ke output. Kontroller NLX 220 ini mensupport dua metode defuzzifikasi, yaitu Accumulate dan Immediate. Mode immediate fungsinya sama dengan tabel, di mana nilai aksi yang menandakan ke rule pemenang selama pemasukan, diaplikasikan ke output. Immediate dipakai saat nilai output harus absolute.

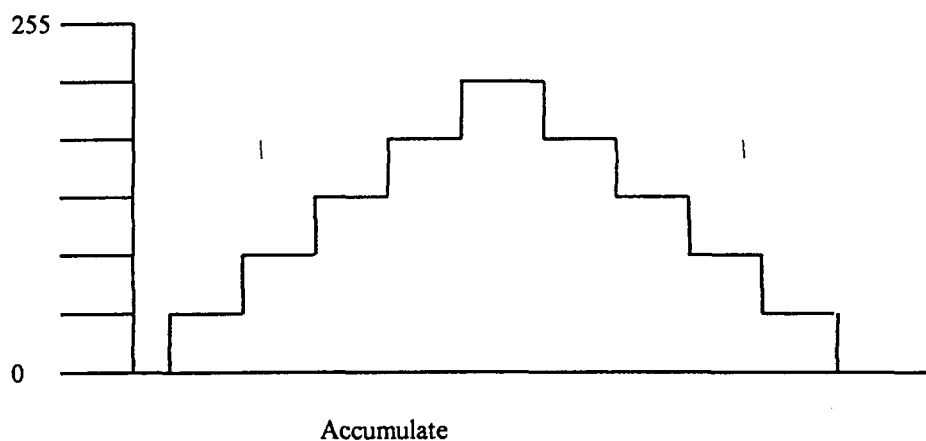


Gambar 2.27²²

Mode Immediate Defuzzifikasi

Mode accumulate adalah untuk menaikkan atau menurunkan nilai output yang ada dengan nilai pemenang rule. Output merupakan fungsi dari aksi sekarang dengan aksi sebelumnya. Digunakan pada perubahan output yang halus saat sistem dalam kontrol yang mendekati titik operasinya. Sangat berguna juga pada pembuatan timing.

²² Ibid, hal 5

Gambar 2.28²³

Mode Accumulate Defuzzifikasi

4.6.3. Organisasi memori NLX 220

Tabel 2.2²⁴

Tabel Alokasi Memori NLX220

Alamat (Desimal)	(Alamat Hexadesimal)	Fungsi
0	00	Rule
223	DF	Rule
224	E0	Center
239	EF	Center
240	F0	Width
225	FF	Width

²³ Ibid hal 5

²⁴ Ibid, hal 6