

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Suhu

Suhu merupakan besaran yang dimiliki bersama dua sistem dalam keadaan seimbang termal. Suhu diukur dalam satuan derajat *Celcius* ($^{\circ}\text{C}$), derajat *Reamur* ($^{\circ}\text{R}$), derajat *Fahrenheit* ($^{\circ}\text{F}$) dan derajat *Kelvin*. Satuan derajat *Celcius* adalah satuan yang umum dipakai, Fahrenheit dipakai untuk negara-negara yang pengantar berbahasa Inggris, sedangkan derajat *Kelvin* hanya dipakai untuk keperluan ilmu pengetahuan, *Reamur* sangat jarang dipakai.

Tabel 2.1. Skala Suhu

Skala	Reamur $^{\circ}\text{R}$	Celcius $^{\circ}\text{C}$	Fahrenheit $^{\circ}\text{F}$	Kelvin $^{\circ}\text{K}$
Titik tetap atas	80	100	212	373
Titik tetap bawah	0	0	32	273
Perbandingan	4	5	9	5

2.2 Kelembaban

Kelembaban udara (*humidity gauge*) adalah jumlah uap air di udara (atmosfer). Kelembaban adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembaban absolut, kelembaban spesifik atau kelembaban relatif. Alat yang digunakan untuk mengukur kelembaban disebut dengan Higrometer. Sebuah humidistat digunakan untuk mengatur tingkat kelembaban udara dalam sebuah bangunan dengan sebuah pengawal lembap (*dehumidifier*).

Kelembaban udara adalah tingkat kebasahan udara karena dalam udara air selalu terkandung dalam bentuk uap air. Kandungan uap air dalam udara hangat lebih banyak daripada kandungan uap air dalam udara dingin. Kalau udara

banyak mengandung uap air didinginkan maka suhunya turun dan udara tidak dapat menahan lagi uap air sebanyak itu. Uap air berubah menjadi titik-titik air. Udara yang mengandung uap air sebanyak yang dapat dikandungnya disebut udara jenuh.

2.3 Sensor

Secara umum sensor didefinisikan sebagai alat yang mampu menangkap fenomena fisika atau kimia kemudian mengubahnya menjadi sinyal elektrik baik arus listrik ataupun tegangan. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal elektrik meliputi temperatur, tekanan, gaya, medan magnet cahaya, pergerakan dan sebagainya.

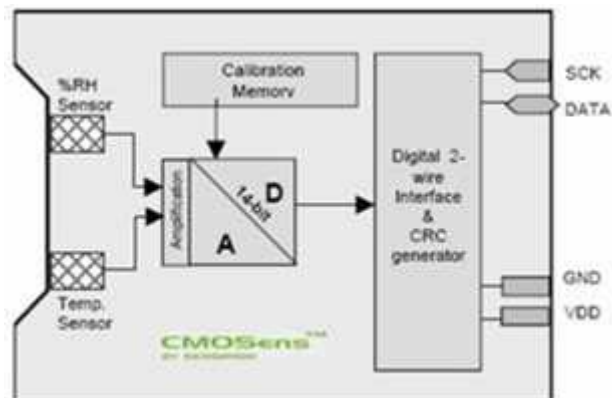
Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk merubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis besarnya. Karakteristik sensor suhu ditentukan dari sejauh mana sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi setiap perubahan suhu yang ingin dideteksinya. Kemampuan mendeteksi perubahan suhu meliputi:

1. Sensitifitas, yaitu ukuran seberapa sensitif sensor terhadap suhu yang dideteksinya. Sensor yang baik akan mampu mendeteksi perubahan suhu meskipun kenaikan suhu tersebut sangat sedikit. Sebagai gambaran sebuah inkubator bayi yang dilengkapi dengan sensor yang memiliki sensitifitas yang tinggi
2. Waktu respon dan waktu *recovery*, yaitu waktu yang dibutuhkan sensor untuk memberikan respon terhadap suhu yang dideteksinya. Semakin cepat waktu respon dan waktu *recovery* maka semakin baik sensor tersebut.
3. Stabilitas dan daya tahan, yaitu sejauh mana sensor dapat secara konsisten memberikan besar sensitifitas yang sama terhadap suhu , serta seberapa lama sensor tersebut dapat terus digunakan.

2.3.1 Sensor Suhu & Kelembaban (SHT11)

SHT11 adalah sebuah *single chip* sensor suhu dan kelembaban relatif dengan multi modul sensor yang output nya telah dikalibrasikan secara digital. Dibagian dalamnya terdapat kapasitif polimer sebagai elemen untuk sensor kelembaban relatif dan sebuah pita regangan yang digunakan sebagai sensor temperatur. Output kedua sensor digabungkan dan dihubungkan pada ADC 14 bit dan sebuah *interface* serial pada satu chip yang sama. Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang baik dengan waktu respon yang cepat. SHT11 dikalibrasi pada ruangan dengan kelembaban yang teliti menggunakan *hygrometer* sebagai referensinya. Koefisien kalibrasinya telah diprogramkan kedalam OTP memori.


Koefisien tersebut akan digunakan untuk mengkalibrasi keluaran dari sensor selama proses pengukuran. *Bidirectional 2-wire* alat penghubung serial dan regulasi tegangan internal membuat lebih mudah dalam pengintegrasian sistem. Ukurannya yang kecil dan konsumsi daya yang rendah membuat sensor ini adalah pilihan yang tepat, bahkan untuk aplikasi yang paling menuntut. Didalam piranti SHT11 terdapat suatu *surface-mountable LLC (Leadless Chip Carrier)* yang berfungsi sebagai suatu *pluggable 4-pin single-in-line* untuk jalur data dan *clock*, blok diagram chip SHT11 dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Blok Diagram pada Chip SHT11.

2.3.2 Spesifikasi Interface

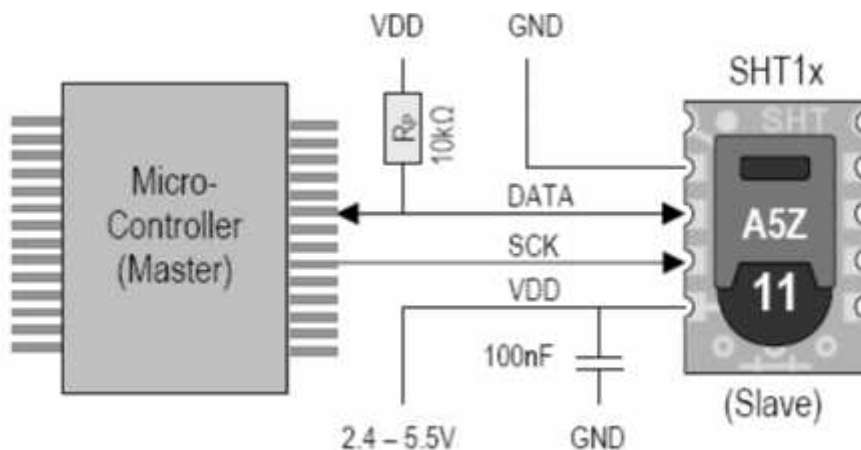
Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected



Gambar 2.2 Spesifikasi Interface.

2.3.3 Power pin (GND, VDD)

Tegangan *power supply* SHT11 berada dalam *range* 2.4 dan 5.5 V, tegangan yang direkomendasikan adalah 3.3 V. Kopel antara VDD dan GND oleh sebuah kapasitor 100nF telah dipasang pada sensor. *Interface* serial SHT11 dioptimasi untuk pembacaan sensor dan konsumsi daya yang efektif. Sensor tidak dapat menggunakan alamat dengan protokol I2C, tetapi sensor dapat dihubungkan dengan bus I2C tanpa gangguan dengan alat lain yang terkoneksi ke bus. Mikrokontroler harus mengubah protokol yang digunakan untuk ini.



Gambar 2.3 Rangkaian Dasar, dengan Resistor Pull-Up.

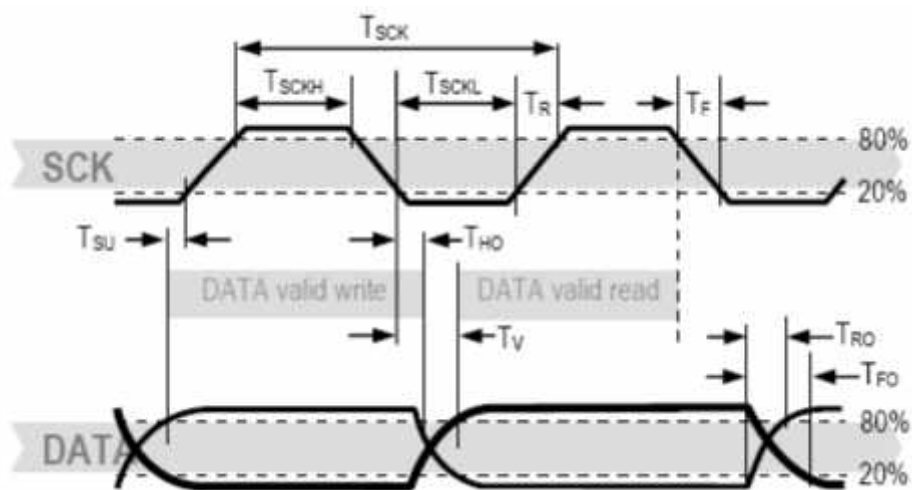
2.3.4 Serial Clock Input (SCK)

SCK digunakan untuk sinkronisasi komunikasi antara mikrokontroler dan SHT11. Karena *interface* terdiri dari logika statis penuh, sehingga tidak memiliki frekuensi SCK minimum.

2.3.5 Serial Data

Pin *tri-state* DATA digunakan untuk mentransfer data keluar dan masuk sensor. Untuk mengirim perintah ke sensor, DATA berlaku valid ketika tepi positif clock serial (SCK) terjadi dan harus dijaga tetap stabil ketika SCK “*high*”. Setelah tepi negatif SCK, nilai DATA dapat berubah. Untuk komunikasi aman DATA valid harus memiliki waktu TSU dan THO sebelum tepi naik dan setelah tepi turun SCK.

Untuk membaca data dari sensor, DATA valid TV setelah SCK turun dan tetap valid sampai tepi turun SCK berikutnya. Untuk menghindari interferensi mikrokontroler harus hanya mendrive DATA “*low*”. Diperlukan sebuah resistor *pull-up* eksternal untuk menarik sinyal menjadi “*high*”.



Gambar 2.4 Timing Diagram.

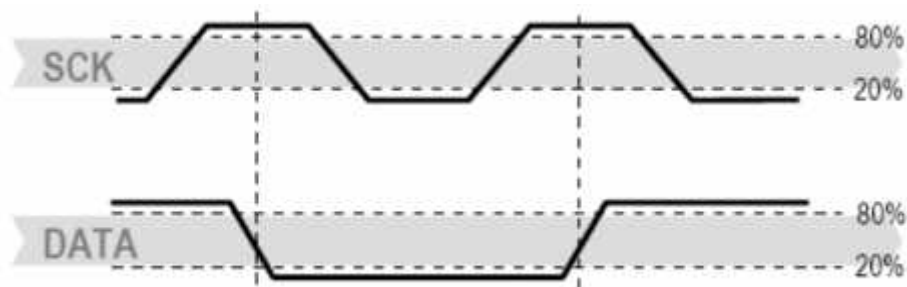
2.4 Komunikasi dengan Sensor

2.4.1 Start up Sensor

Sebagai langkah awal adalah memberikan daya pada sensor dengan tegangan VDD. Laju kenaikan tegangan selama memberikan daya tidak boleh lebih kecil dari 1V/ms. Setelah menyalakan sensor, sensor memerlukan 11ms untuk masuk ke mode keadaan *sleep*. Tidak boleh ada perintah yang diberikan pada saat tersebut.

2.4.2 Pengiriman Perintah

Untuk memulai mengirimkan perintah, *transmission start* harus dikirim. *Transmission start* terdiri dari jalur DATA yang menuju *low* pada saat SCK *high*, diikuti oleh *pulsa low* pada SCK dan menaikkan DATA kembali ketika SCK dalam keadaan masih *high*. Lihat Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Proses *Transmission Start*.

Perintah untuk mengambil data terdiri dari tiga bit alamat (hanya mendukung '000') dan lima bit perintah. SHT11 menandakan bahwa perintah diterima dengan baik dengan cara menarik jalur DATA *low* (bit ACK) setelah tepi negatif *clock* SCK ke-8. Jalur DATA dibebaskan (berubah *high*) setelah tepi negatif *clock* SCK ke-9.

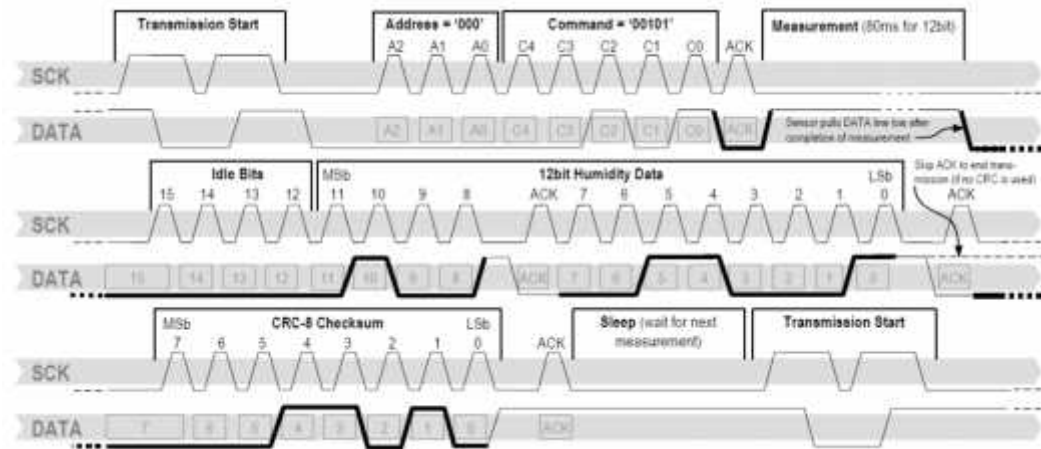
Tabel 2.2 Daftar Perintah SHT11

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset , resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

2.5 Pengukuran Kelembaban dan Suhu

Setelah mengirimkan perintah pengukuran ('00000101' untuk kelembaban, '00000011' untuk suhu), mikrokontroler harus menunggu pengukuran selesai. Ini memerlukan 20/80/320 ms untuk 8/12/14 bit pengukuran. Lama waktu ini bervariasi sesuai dengan osilator internal dan dapat dikurangi hingga 30%. Untuk menandakan selesainya pengukuran, SHT11 menarik jalur DATA *low* dan masuk ke mode *Idle*. Mikrokontroler harus menunggu sinyal "*Data Ready*" sebelum memulai kembali SCK untuk membaca data. Data pengukuran disimpan sampai pembacaan selesai, dengan demikian mikrokontroler dapat melakukan pengukuran selanjutnya.

Dua *byte* data hasil pengukuran dan satu *byte* CRC *checksum* (pilihan) akan dikirim dari SHT11. Mikrokontroler harus memberikan tanda pada setiap *byte* yang diterima dengan cara menarik jalur DATA *low*. Semua *byte* didahului oleh MSB (*most significant bit*), rata kanan (SCK ke-5 adalah MSB untuk nilai dengan 12-bit data, untuk hasil 8-bit *byte* pertama tidak digunakan). Komunikasi diakhiri setelah *byte acknowledge* data CRC. Jika CRC-8 *checksum* tidak digunakan mikrokontroler dapat memberhentikan komunikasi setelah LSB data pengukuran dengan menjaga ACK *high*. SHT11 secara otomatis kembali ke *Mode Sleep* setelah pengukuran dan komunikasi selesai.



Gambar 2.6 Contoh Pengukuran Kelembaban RH.

2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem *microprosesor* dimana di dalamnya sudah terdapat CPU, ROM, RAM, I/O, *Clock* dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi dengan baik (Ardi Winoto, 2008).

Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data.

Mikrokontroler merupakan komputer didalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya bisa disebut “pengendali kecil” dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi/diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini.

2.6.1 Mikrokontroler AVR

ATMega8 adalah mikrokontroler CMOS 8 bit daya rendah berbasis arsitektur RISC. Instruksi dikerjakan pada satu siklus *clock*, ATMega8535 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz, hal ini membuat ATMega8535 dapat bekerja dengan kecepatan tinggi walaupun dengan penggunaan daya rendah. Mikrokontroler ATMega8 memiliki beberapa fitur atau spesifikasi yang menjadikannya sebuah solusi pengendali yang efektif untuk berbagai keperluan.

Fitur-fitur tersebut antara lain:

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yang terdiri atas *Port A*, *B*, *C* dan *D*
2. ADC (*Analog to Digital Converter*)
3. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan
4. CPU yang terdiri atas 32 *register*
5. *Watchdog Timer* dengan *osilator internal*
6. SRAM sebesar 512 *byte*
7. Memori *Flash* sebesar 8kb dengan kemampuan *read while write*
8. Unit Interupsi *Internal* dan *External*
9. *Port* antarmuka SPI untuk men-*download* program ke *flash*
10. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi
11. Antarmuka komparator *analog*
12. *Port* USART untuk komunikasi serial.

2.7 Heater

Electrical Heating Element (elemen pemanas listrik) banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, baik didalam rumah tangga ataupun peralatan dan mesin industri. Bentuk dan tipe dari *Electrical Heating Element* ini bermacam macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan di panaskan.

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan

dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan.

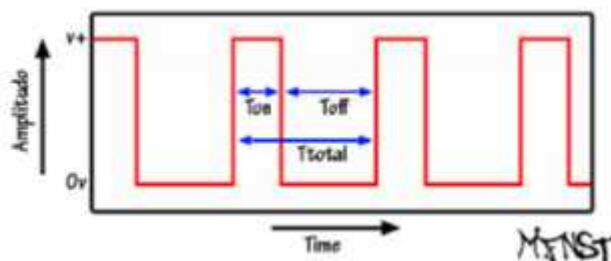
Ada 2 macam jenis utama pada elemen pemanas listrik ini yaitu :

1. Elemen Pemanas Listrik bentuk dasar yaitu elemen pemanas dimana *Resistance Wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah *Ceramik Heater, Silica* dan *Quartz Heater, Bank Channel heater, Black Body Keramik Heater*.
2. Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuain terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *mild stell, stainless stell, tembaga* dan *kuningan*. *Heater* yang termasuk dalam jenis ini adalah *Tubular Heater, Catridge Heater, Band, Nozzle & Stripe Heater*.

2.8 PWM (*Pulse Width Modulation*)

2.8.1 Pengertian

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa Contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya.



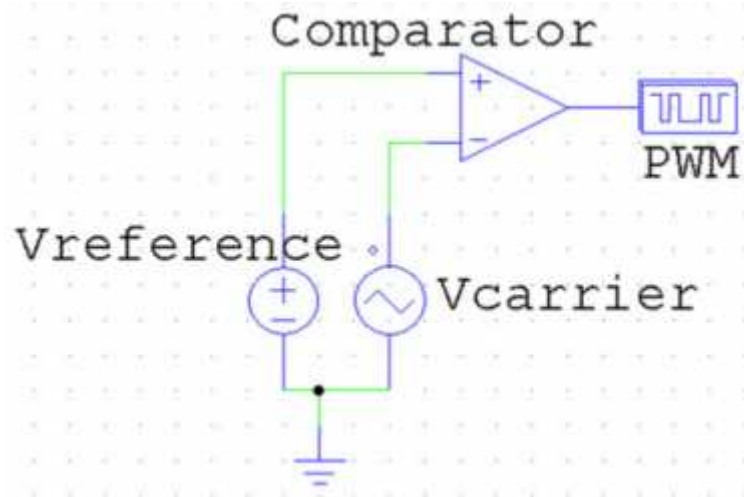
Gambar 2.7 Sinyal PWM.

Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa, pengendalian kecepatan motor DC, Pengendalian Motor Servo, pengaturan nyala terang LED.

2.8.2 Jenis

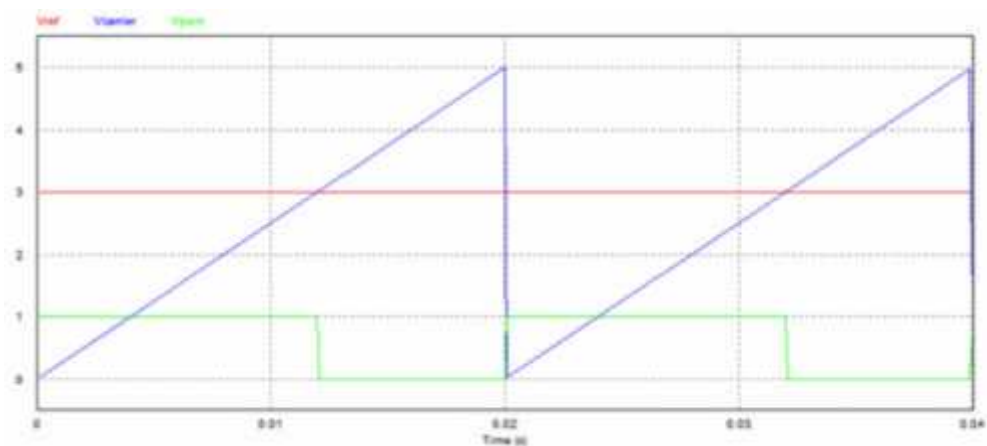
1. Analog

Pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan cara membandingkan sinyal gigi gergaji sebagai tegangan *carrier* dengan tegangan referensi menggunakan rangkaian *op-amp comparator*.



Gambar 2.8 Rangkaian PWM Analog.

Cara kerja dari komparator analog ini adalah membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 dibawah :



Gambar 2.9 Pembentukan Sinyal PWM.

Saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan *carrier* (gigi gergaji) maka output komparator akan bernilai *high*. Namun saat tegangan

referensi bernilai lebih kecil dari tegangan carrier, maka output komparator akan bernilai *low* . Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari komparator inilah, untuk mengubah *duty cycle* dari sinyal output cukup dengan mengubah-ubah besar tegangan referensi. Besarnya *duty-cycle* rangkaian PWM ini.

$$\text{Duty - Cycle} = \frac{V_{\text{reference}}}{V_{\text{carrier}}} \times 100\%$$

Rumus 2.1 Menghitung Besar Duty-Cycle

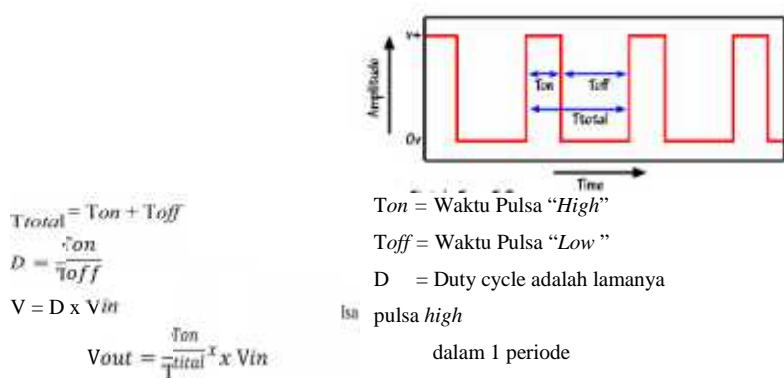
2. Digital

Pada metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

2.8.3 Cara Kerja dan Pengendalian

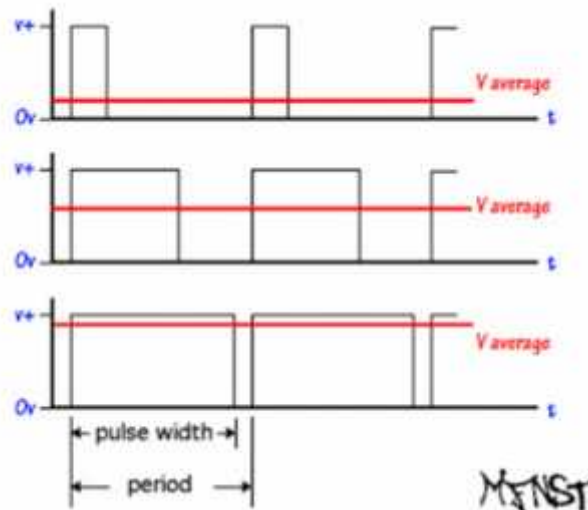
1. Konsep Dasar PWM

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%)



Gambar 2.10 Sinyal PWM dan Persamaan v_{out} PWM.

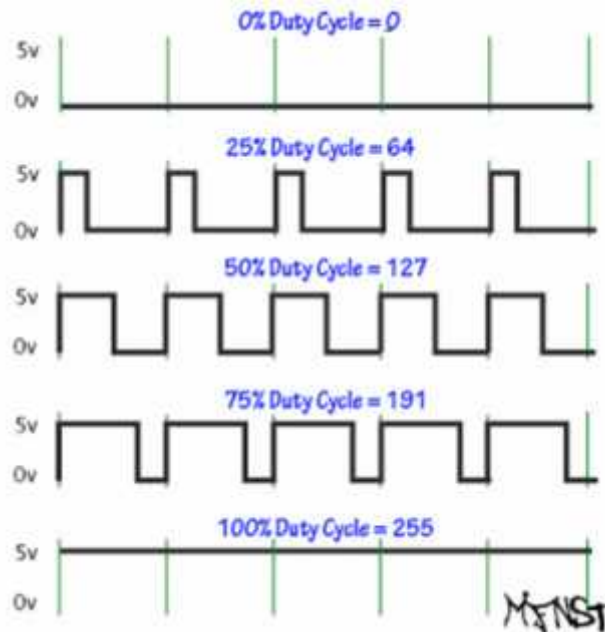
Dari persamaan diatas diketahui bahwa perubahan *duty cycle* akan merubah tegangan keluaran atau tegangan rata-rata seperti gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.11 Vrata-rata Sinyal PWM.

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan sinyal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital.

Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak $2^8 = 256$ variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut



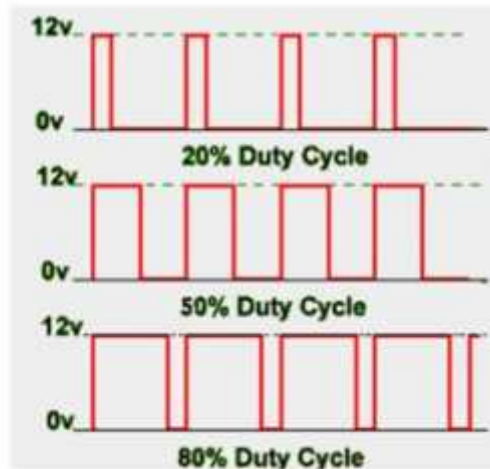
Gambar 2.12 Duty Cycle dan Resolusi PWM.

2. Perhitungan Duty Cycle PWM

Dengan cara mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai

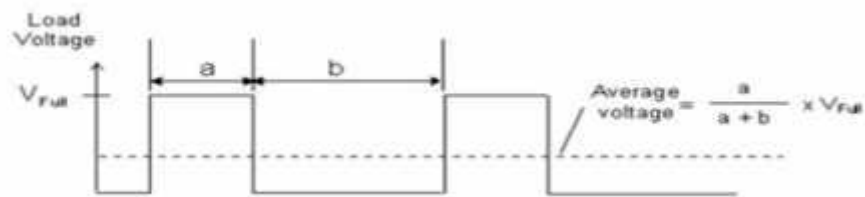
$$Duty\ Cycle = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\%$$

Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. pada *duty cycle* 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada, begitu seterusnya.



Gambar 2.13 Pemberian Daya *Duty Cycle*.

Perhitungan pengontrolan tegangan output motor dengan metode PWM cukup sederhana.



Gambar 2.14 Perhitungan Metode PWM.

Dengan menghitung *duty cycle* yang diberikan, akan didapat tegangan output yang dihasilkan. Sesuai dengan rumus yang telah dijelaskan pada gambar.

$$\text{Average Voltage} = \frac{a}{a + b} \times V_{full}$$

Rumus 2.2 Output Motor Pada PWM.

Average voltage merupakan tegangan output pada motor yang dikontrol oleh sinyal PWM. *a* adalah nilai *duty cycle* saat kondisi sinyal “on”. *b* adalah nilai *duty cycle* saat kondisi sinyal “off”. *V_{full}* adalah tegangan maksimum pada motor. Dengan menggunakan rumus diatas, maka akan didapatkan tegangan output sesuai dengan sinyal kontrol PWM yang dibangkitkan.

2.9 Logika *Fuzzy*

2.9.1 Sistem *Fuzzy*

Konsep *Fuzzy Logic* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada 1965, yang dipresentasikan bukan sebagai suatu metodologi kontrol, tetapi sebagai suatu cara pemrosesan data dengan memperkenankan penggunaan partial set membership dibanding *crisp set* membership atau non-membership.

Kontroler logika *fuzzy* dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Unit logika *fuzzy* memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks, yang tidak dimiliki oleh kontroler konvensional. Secara umum kontroler logika *fuzzy* memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontroler manusia.
2. Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linear dan tidak stationer.
3. Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja.
4. Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time*.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu:

a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dsb.

b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah)

secara monoton dari kiri ke kanan.

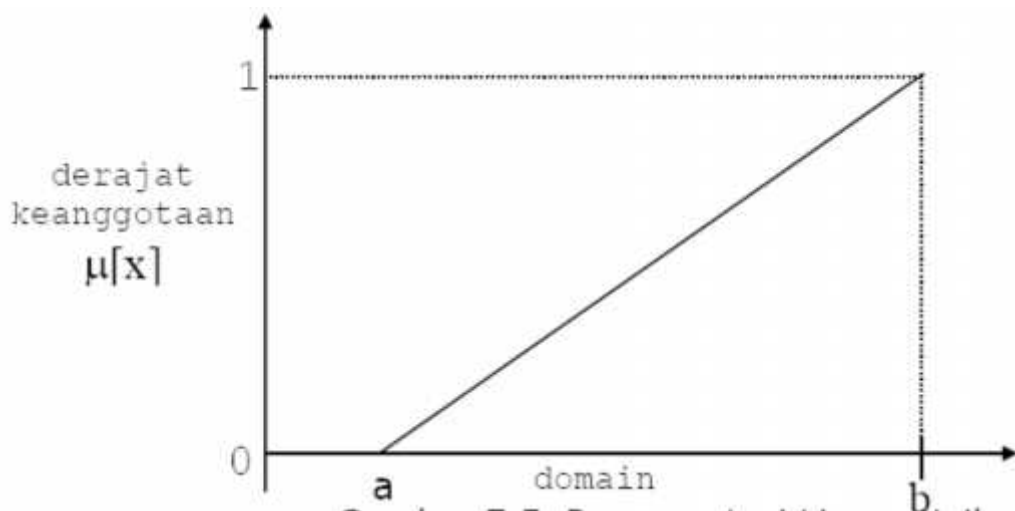
d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

A. Fungsi Keanggotaan

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. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

- a) Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Ada 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang linear. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.

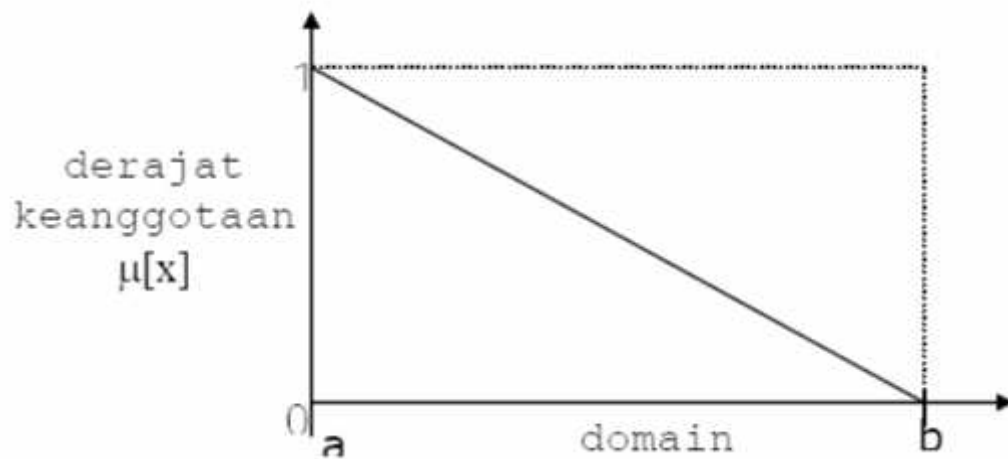


Gambar 2.15 Representasi Linear Naik.

Fungsi keanggotaan :

$$\mu[x]= \left\{ \begin{array}{ll} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & : a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{array} \right\}$$

Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. 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.



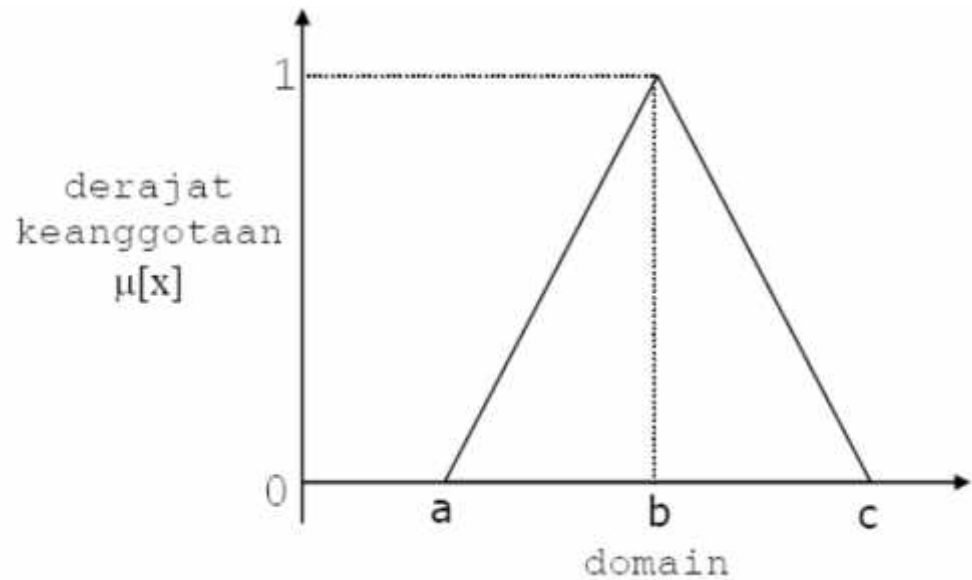
Gambar 2.16 Representasi Linear Turun.

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x]= \left\{ \begin{array}{ll} \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{array} \right\}$$

b) Representasi Kurva Segitiga

Kurva Segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear).



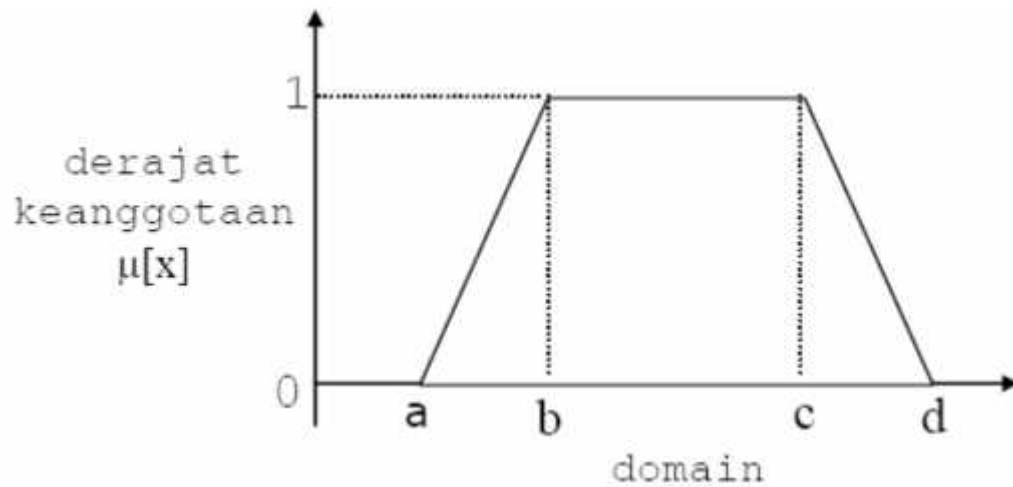
Gambar 2.17 Representasi Kurva Segitiga.

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x]= \left\{ \begin{array}{ll} 0; & x \leq a \text{ atau } a \leq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{array} \right\}$$

c) Representasi Kurva Trapesium

Kurva Segitiga pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



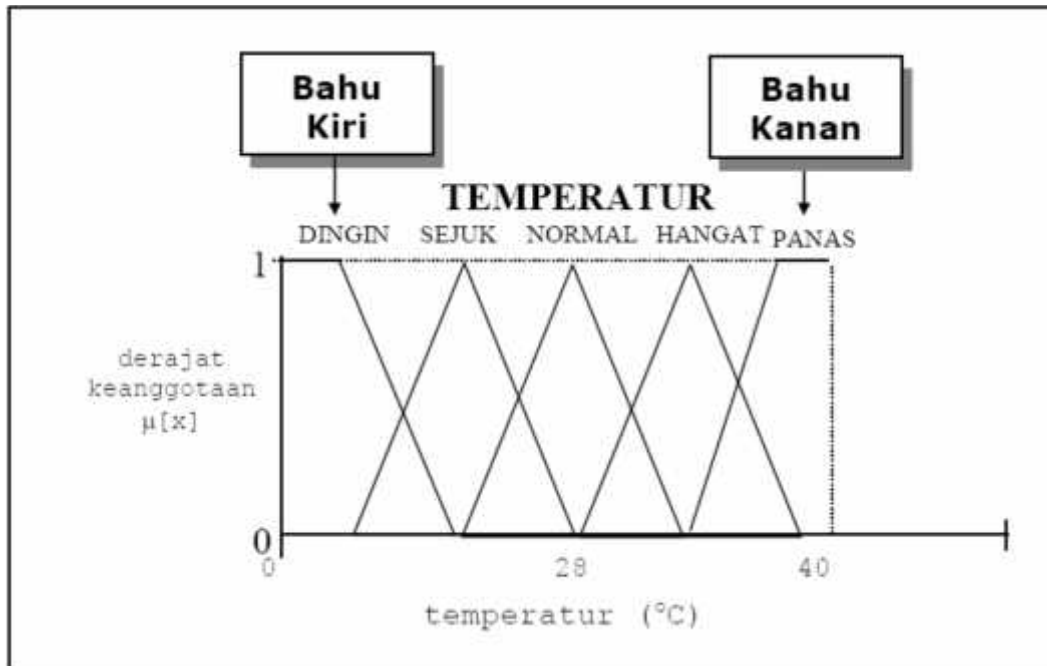
Gambar 2.18 Representasi Kurva Trapesium.

Fungsi Keanggotaan:

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

d) Representasi Kurva Bentuk Bahu

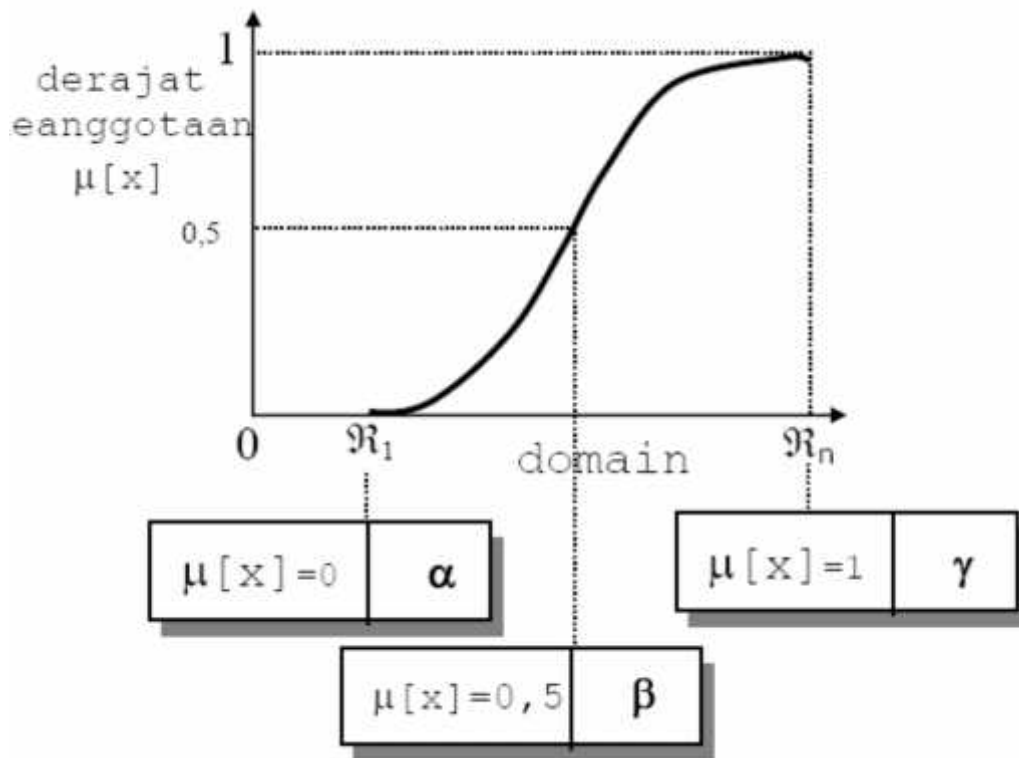
Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun (misalkan: DINGIN bergerak ke SEJUK bergerak ke HANGAT dan bergerak ke PANAS). Tetapi terkadang salah satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan.



Gambar 2.19 Representasi Kurva Bentuk Bahu.

e) Representasi Kurva-S

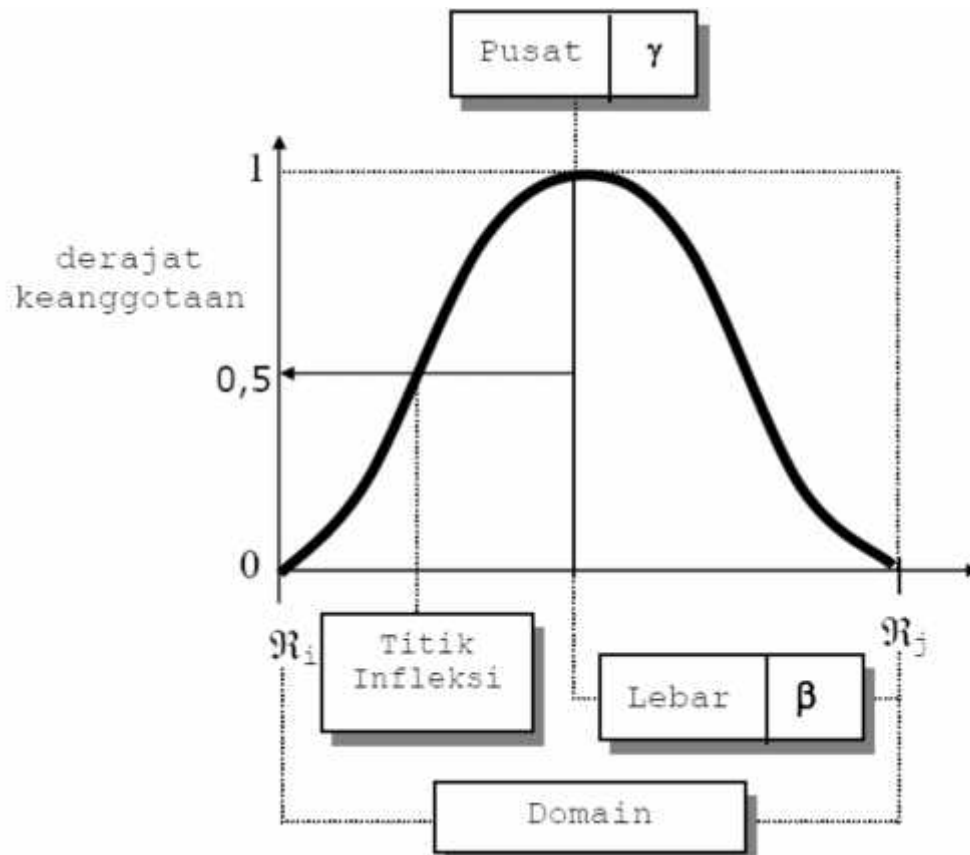
Kurva PERTUMBUHAN dan PENYUSUTAN merupakan kurva-S atau sigmoid yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear.



Gambar 2.20 Representasi Kurva-S.

f) Representasi Kurva Bentuk Lonceng (Bell Curve)

Untuk merepresentasikan bilangan *fuzzy*, biasanya digunakan kurva berbentuk lonceng. Kurva berbentuk lonceng ini terbagi atas 3 kelas, yaitu: himpunan *fuzzy* PI, beta, dan Gauss. Perbedaan ketiga kurva ini terletak pada gradiennya.



Gambar 2.21 Representasi Kurva Bentuk Lonceng.

g) koordinat keanggotaan

Himpunan *fuzzy* berisi urutan pasangan berurutan yang berisi nilai domain dan kebenaran nilai keanggotaannya dalam bentuk:

$$\text{Skalar}(i) / \text{Derajat}(i)$$

‘Skalar’ adalah suatu nilai yang digambar dari domain himpunan *fuzzy*, sedangkan ‘Derajat’ skalar merupakan derajat keanggotaan himpunan *fuzzynya*.

2.9.2 Fuzzyfikasi

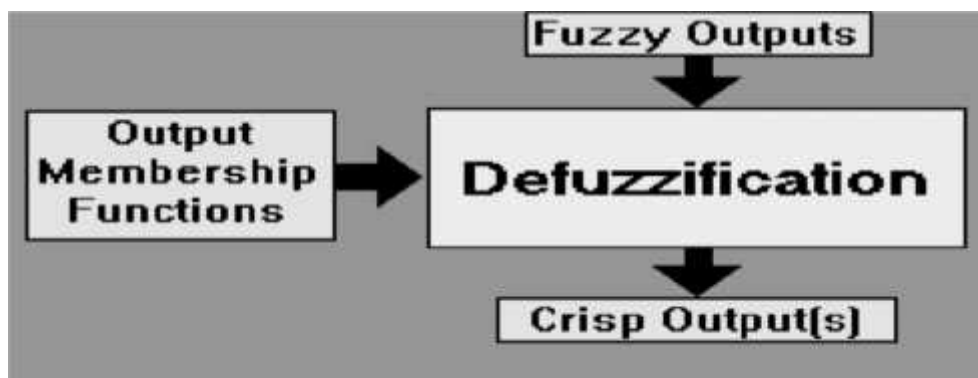
Proses *fuzzyfikasi* merupakan proses untuk mengubah *variable non fuzzy* (variable numerik) menjadi *variable fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-masukan yang masih dalam bentuk *variable numeric* yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu kedalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Proses ini disebut *fuzzyfikasi*, dengan kata lain *fuzzyfikasi* merupakan pemetaan titik-titik numerik (*crisp point*).

2.9.3 Penentuan Rule Base

Rule base adalah sekelompok aturan *fuzzy* dalam berhubungan dengan keadaan sinyal masukan dan sinyal keluaran. *Rule base* merupakan dasar dari pengambilan keputusan atau *inference* proses untuk mendapatkan aksi keluaran sinyal kontrol dari suatu kondisi masukan yaitu *error* dan *delta error* dengan berdasarkan *rule-rule* yang telah ditetapkan. Proses *rule base* berfungsi untuk mencari suatu nilai *fuzzy output* dari *fuzzy input*.

2.9.4 Defuzzyfikasi

Defuzzifikasi adalah proses pemetaan dari hasil aksi kontrol inferensi *fuzzy* ke aksi kontrol non *fuzzy*.



Gambar 2.22 Defuzzyfikasi.