

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkuman harga (range) tertentu. Di dalam dunia industri, dituntut suatu proses kerja yang aman dan berefisiensi tinggi untuk menghasilkan produk dengan kualitas dan kuantitas yang baik serta dengan waktu yang telah ditentukan. Otomatisasi sangat membantu dalam hal kelancaran operasional, keamanan (investasi, lingkungan), ekonomi (biaya produksi), mutu produk, dll.

Ada banyak proses yang harus dilakukan untuk menghasilkan suatu produk sesuai standar, sehingga terdapat parameter yang harus dikontrol atau di kendalikan antara lain tekanan (pressure), aliran (flow), suhu (temperature), ketinggian (level), kerapatan (intensity), dll. Gabungan kerja dari berbagai alat-alat kontrol dalam proses produksi dinamakan sistem pengontrolan proses (process control system). Sedangkan semua peralatan yang membentuk sistem pengontrolan disebut pengontrolan instrumentasi proses (process control instrumentation). Dalam istilah ilmu kendali, kedua hal tersebut berhubungan erat, namun keduanya sangat berbeda hakikatnya. Pembahasan disiplin ilmu Process Control Instrumentation lebih kepada pemahaman tentang kerja alat instrumentasi, sedangkan disiplin ilmu Process Control System mengenai sistem kerja suatu proses produksi.

Ada 3 parameter yang harus diperhatikan sebagai tinjauan pada suatu sistem kontrol proses yaitu :

- cara kerja sistem kontrol
- keterbatasan pengetahuan operator dalam pengontrolan proses
- peran instrumentasi dalam membantu operator pada pengontrolan proses

Empat langkah yang harus dikerjakan operator yaitu mengukur, membandingkan, menghitung, mengkoreksi. Pada waktu operator mengamati ketinggian level, yang dikerjakan sebenarnya adalah mengukur process variable (besaran parameter proses yang dikendalikan). Contohnya proses pengontrolan temperatur line fuel gas secara manual, proses variabelnya adalah suhu. Lalu operator membandingkan apakah hasil pengukuran tersebut sesuai dengan apa yang diinginkan. Besar proses variabel yang diinginkan tadi disebut desired set point. Perbedaan antara process variabel dan desired set point disebut error. Dalam sistem kontrol suhu di atas dapat dirumuskan secara matematis:

$$\text{Error} = \text{Set Point} - \text{Process Variabel}$$

Process variabel bisa lebih besar atau bisa juga lebih kecil daripada desired set point. Oleh karena itu error bisa diartikan negatif dan juga bisa positif

Suatu sistem kontrol otomatis dalam suatu proses kerja berfungsi mengendalikan proses tanpa adanya campur tangan manusia (otomatis). Ada dua sistem kontrol pada sistem kendali/kontrol otomatis yaitu :

A. Open Loop (Loop Terbuka)

Suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengontrolan. Dengan demikian pada sistem kontrol ini, nilai keluaran tidak di umpan-balikkan ke parameter pengendalian.

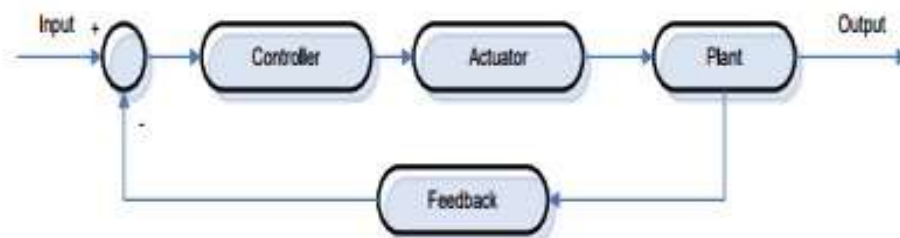


Gambar 2.1. Diagram Blok Sistem Pengendalian Loop Terbuka B. Close Loop (Loop Tertutup)

B. Close Loop (Loop Tertutup)

Suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Sinyal error yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (feedback), lalu diumpankan pada komponen pengendalian (controller) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran sistem semakin mendekati harga yang diinginkan.

Keuntungan sistem loop tertutup adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem. Kerugiannya adalah tidak dapat mengambil aksi perbaikan terhadap suatu gangguan sebelum gangguan tersebut mempengaruhi nilai prosesnya.



Gambar 2.2. Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup

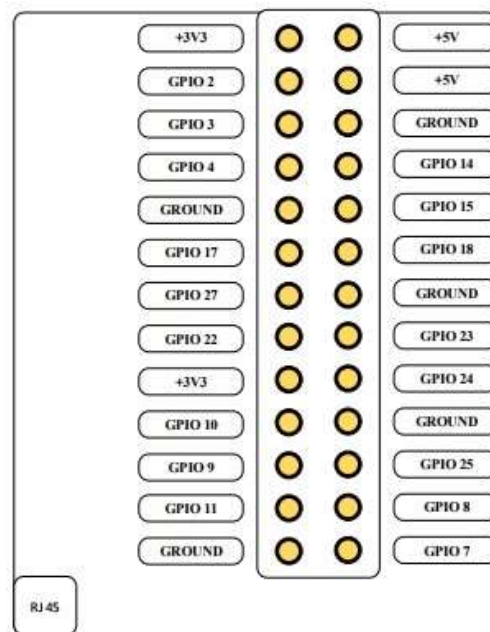
2.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi (RPi) adalah komputer mini ukuran saku yang memiliki harga yang dikenal cukup murah. Sebelum diketahui memiliki banyak fungsi seperti sekarang, Raspberry Pi digunakan untuk

kepentingan pendidikan. Berbagai sistem operasi mendukung pemakaian Raspberry Pi, seperti Raspbian dan OSMC.



Gambar 2.3 Raspberry Pi Board



Gambar 2.4 Raspberry Pi GPIO Pin

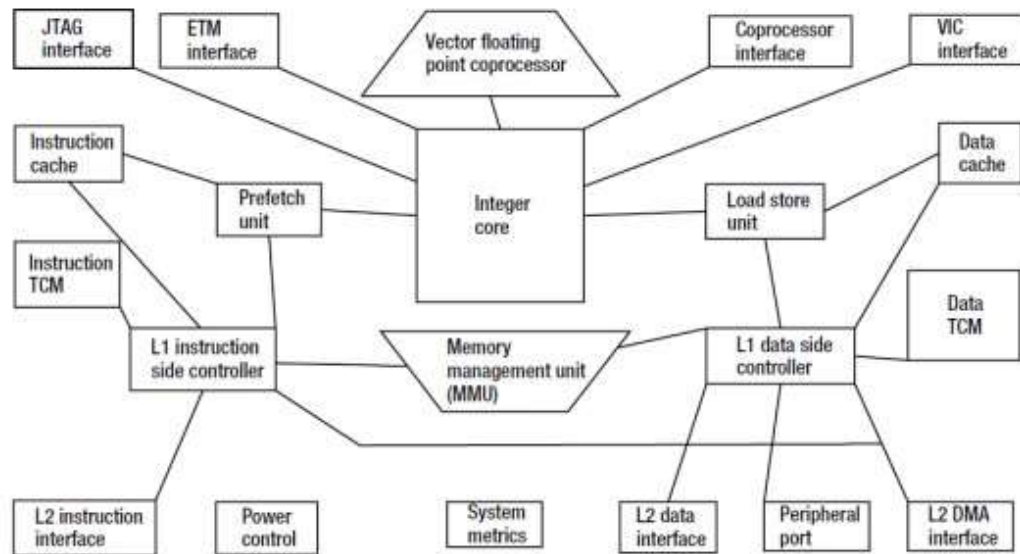
Beberapa fungsi Raspberry Pi yang dapat dimanfaatkan diantaranya sebagai berikut :

- 1) Sebagai komputer desktop mini
- 2) Sebagai file server
- 3) Sebagai download server
- 4) Sebagai Access Point

- 5) Sebagai server DNS
- 6) Sebagai multimedia player

Terdapat 26 pin GPIO yang dimiliki Raspberry Pi, terdapat 2 pin sebagai sumber tegangan 5 V, 2 pin sumber tegangan 3.3 V, 5 pin ground, 17 pin input / output. GPIO pada Raspberry Pi dapat dikendalikan dan dipicu dengan berbagai cara, bisa dengan terminal menggunakan bash script atau dengan bahasa program yang lain

Raspberry Pi B+ menggunakan sistem operasi berbasis kernel Linux. Raspbian merupakan Sistem operasi berbasis Debian yang dapat bebas dioptimalkan untuk perangkat keras Raspberry Pi B+, yang dirilis pada bulan Juli 2012.



Gambar 2.5 Arsitek Raspberry Pi

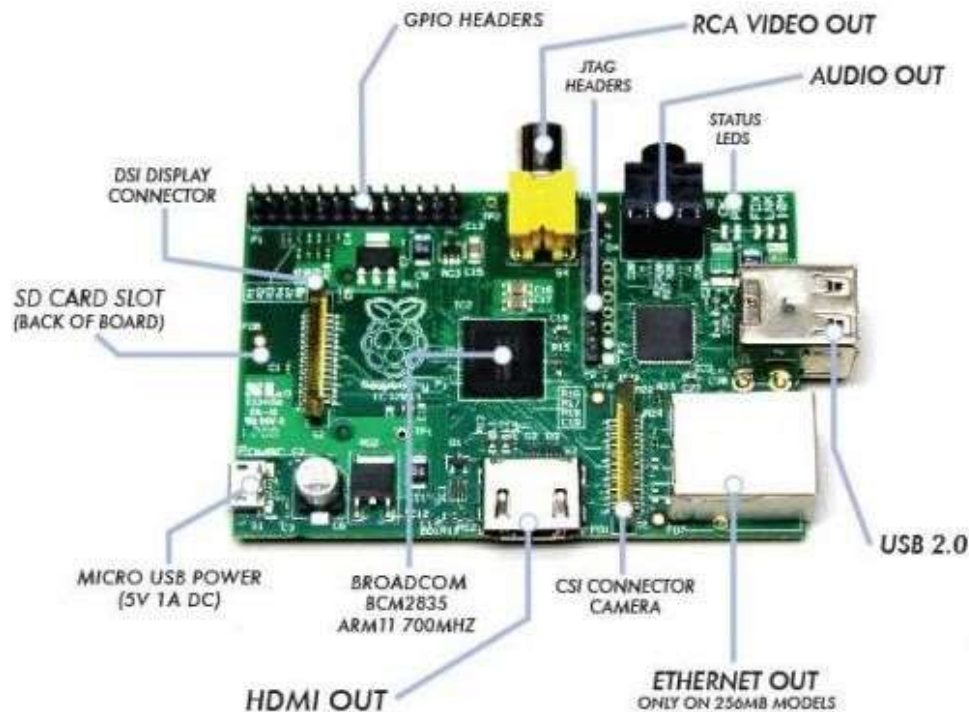
GPU hardware diakses melalui gambar firmware yang di-load ke GPU saat boot dari SD-card. Gambar firmware dikenal sebagai kumpulan biner, sementara driver Linux yang terkait adalah sumber tertutup (closed source). Aplikasi perangkat lunak menggunakan panggilan ke sumber tertutup run-time library yang pada gilirannya menjadi panggilan open source driver dalam Linux kernel. API driver kernel spesifik untuk perpustakaan tersebut bersifat tertutup. Aplikasi video menggunakan OpenMAX, aplikasi 3D menggunakan OpenGL ES dan 2D aplikasi menggunakan OpenVG yang pada nantinya menggunakan EGL. OpenMAX dan EGL menggunakan open source kernel driver.

Pada 19 Februari 2012, Yayasan Raspberry Pi merilis bukti konsep kartu SD image yang dapat dimuat ke SD Card untuk menghasilkan sebuah sistem operasi yang pertama. Image didasarkan pada

Debian 6.0 dengan LXDE desktop dan Midori browser, ditambah berbagai alat pemrograman. image tersebut 9 berjalan pada QEMU yang memungkinkan Raspberry Pi B+ akan ditiru pada berbagai platform lainnya.

Pada 8 Maret 2012 Yayasan Pi Raspberry merilis Raspberry Pi Fedora Remix direkomendasikan sebagai distribusi Linux, yang dikembangkan di Seneca College di Kanada. Yayasan ini berniat untuk membuat situs Web App Store bagi orang untuk program pertukaran. Slackware ARM (secara resmi ARMedslack) versi 13.37 dan kemudian berjalan pada Raspberry Pi tanpa modifikasi. 128–496 MB dari memori yang tersedia di Raspberry Pi adalah dua kali minimum 64 MB yang diperlukan untuk menjalankan Slackware Linux pada sistem ARM atau i386. (Sementara Slackware dapat memuat dan menjalankan GUI, yang dirancang untuk dijalankan dari shell). Fluxbox window manager berjalan di bawah X Window System memerlukan tambahan 48 MB RAM. Selain itu, pekerjaan yang sedang dilakukan pada distribusi Linux seperti IPFire, OpenELEC, Raspbmc dan XBMC membuka sumber digital media center. Eben Upton secara terbuka mendekati RISC OS pada bulan Juli 2011 untuk menanyakan tentang bantuan dengan port potensial. Adrian Lees di Broadcom sejak itu bekerja pada port, dengan karyanya yang disebutkan dalam sebuah diskusi tentang driver grafis.

Pada 24 Oktober 2012 Yayasan Raspberry Pi mengumumkan bahwa "semua kode driver VideoCore yang berjalan pada ARM" telah dirilis sebagai perangkat lunak bebas di bawah lisensi BSD-style, membuat "multi media pertama berbasis ARM multimedia SoC dengan banyakfungsional, vendor menyediakan (sebagai lawan dari parsial, reverse rekayasa) sepenuhnya opensource driver", meskipun klaim ini tidak diterima secara universal.



Gambar 2.6 Bagian-bagian Raspberry Pi

Penjelasan :

- Broadcom BCM2835 ARM11 700Mhz merupakan otak dari Raspberry Pi B+
- HDMI out HDMI 1.3 a-compliant mendukung sinyal HDMI dan DVI-D - CSI connector camera. Camera serial interface dengan 15 pin flat flex kabel header untuk CSI-2 interface MIPI Aliansi. Standar antarmuka CSI mendefinisikan standar antarmuka serial searah untuk perangkat kamera CSI-compliant.
- Ethernet Out (hanya dalam model 256 Mb) Mendukung fungsi Wakeon-LAN dan TCP / UDP
- USB 2.0 Fungsi USB disediakan oleh SMSC LAN9512 pada kedua Model A dan Model B. LAN9512 adalah paket menarik dan cara yang sangat baik untuk menghemat ruang PCB. Port USB pada Pi adalah USB 2.0 dengan maksimum menarik arus yang disarankan 100 mA.
- Status LED Memiliki 4 Led sebagai indikator status dari setiap fungsi pada Raspberry Pi. D5 menyala hijau menjelaskan system/ akses terkoneksi dengan SD card, D6 menyala merah menjelaskan power terkoneksi, 3.3V. D7 menyala hijau sebagai full duplex, half duplex jika LED padam. D8 menyala hijau menjelaskan Link aktivitas untuk LAN.
- AUDIO OUPUT Sebagai stereo audio output.

- JTAG Header JTAG interface digunakan untuk memprogram chip SoC dan chip SMSC didalam board. Pabrikan juga menggunakan JTAG untuk menguji hardware pada saat pembuatannya.
- RCA Video output Sebagai video output cadangan pada Raspberry Pi apabila fungsi HDMI tidak digunakan.
- GPIO Header. Terdiri dari 26 pin yang berfungsi untuk pengontrolan suatu perangkat yang dikontrol oleh suatu perangkat lunak baik dikonfigurasi sebagai pin input maupun sebagai pin output. Fitur-fitur pada GPIO diantaranya : pin I2C, pin RX TX, pin PWM, pin PPM dan disediakan pin dengan tegangan 5V dan 3.3V. semua pin pada GPIO memiliki tingkat logika 3.3V.
- DSI Display connector Display Serial Interface dengan 15 pin flat flex yang tampak persis dengan dega CSI-2 interface, biasanya digunakan untuk display LCD seperti LCD pada ponsel. DSI juga dapat digunakan sebagai I2C.
- SD card slot Sebagai slot untuk SD card atau slot mikro SD, yang berisikan OS untuk di akses oleh pengguna Raspberry Pi B+.
- Micro USB power Dengan power input 5V 1A DC untuk memenuhi kebutuhan tegangan dan arus pada Raspberry Pi B+.

Berikut adalah daftar sistem operasi yang berjalan pada Raspberry Pi.

1. Full OS :

- AROS
- Haiku
- Linux :
 - Android : Android 4.0 (Ice Cream Sandwich) ○ Arch Linux ARM ○ R_Pi Bodhi Linux ○ Debian Squeeze ○ Firefox OS ○ Gentoo Linux
 - Google Chrome OS : Chromium OS ○ PiBang Linux ○ Raspberry Pi Fedora Remix ○ Raspbian (Debian Wheezy port with faster floating point support) ○ Slackware ARM (formerly ARMslack) ○ QtonPi a cross-platform application framework based Linux distribution based on the Qt framework
 - WebOS : Open webOS –
- Plan 9 from Bell Labs
- RISC OS

- Unix : □ FreeBSD □ NETBSD

2. Multi-purpose light distributions:

- Moebius, ARMHF distribusi berdasarkan Debian. Menggunakan repositori Raspbian, cocok di kartu 1 GB microSD. Ini memiliki layanan hanya minimal dan penggunaan memori yang dioptimalkan untuk menjaga footprint kecil.
- Squeezed Arm Puppy, versi Puppy Linux (Puppi) untuk ARMv6 (sap6) khusus untuk Raspberry Pi.

3. Single-purpose light distributions:

- IPfire
- OpenELEC
- Raspbmc
- XBMaC
- XBian

User Applications Aplikasi berikut dapat dengan mudah diinstal pada Raspbian melalui apt-get:

- Asterisk (PBX), Open source PBX dapat digunakan melalui IP phones atau WI-FI softphones
- BOINC client; Namun sangat sedikit proyek BOINC memberikan ARM compatible client paket software
- Minidlna, DLNA kompatibel home LAN multimedia server

2.3. Sensor Suhu

DS18B20 merupakan perangkat pengukur suhu dalam bentuk derajat celcius yang memiliki ADC 12 bit. Komunikasi protokol sensor ds18b20 ini melalui bus 1-wire (w1). Sensor Dallas DS18B20 terdapat 3 pin yang diberi nama GND, DQ, VDD. Pin GND merupakan pin ground, pin DQ merupakan pin input / output data, dan pin Vdd merupakan pin tegangan masuk.



Gambar 2.7. Sensor Suhu DS18B20

Sensor ini juga memiliki tingkat akurasi cukup tinggi, yaitu 0,50C pada rentang suhu -100C hingga +850C, sehingga banyak dipakai untuk aplikasi sistem pemantauan suhu. Aplikasi-aplikasi yang berhubungan dengan sensor seringkali membutuhkan ADC dan beberapa pin port mikrokontroler, namun pada DS18B20 ini tidak dibutuhkan ADC agar dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler.

Spesifikasi lain dari DS18B20 adalah sebagai berikut:

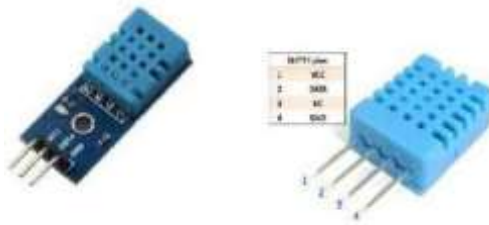
1. Memiliki kode serial 64-bit yang unik.
2. Dapat beroperasi tanpa power supply dari luar.
3. Power supply 3-5,5 V. dapat diperoleh dari aliran data.
4. Pengukuran temperature dari -550C hingga +1250C.
5. Resolusi ADC: 9-bit 6. Waktu konversi: maksimal 750ms.

2.4. Sensor Kelembapan Udara

DHT11 merupakan sensor yang telah teruji keakuratannya dalam pengukuran suhu dan kelembaban suatu udara.. Sensor DHT11 memerlukan resistor 10K pada kaki VCC dan data untuk menghindari arus langsung yang masuk ke sensor sebelum masuk ke Microcontroller. Sensor ini termasuk elemen resistif dan memiliki kualitas yang sangat baik, respon cepat, dan memiliki biaya yang rendah.

Spesifikasi dari DHT11 ini adalah sebagai berikut :

1. Berbasis sensor suhu dan kelembapan Relative Sensirion DHT11.
2. Rentang temperatur :0-50 ° C kesalahan ± 2 ° C.
3. Kelembaban :20-90% RH.
4. Toleransi $\pm 5\%$ RH error.
5. Jalur antarmuka telah dilengkapi dengan rangkaian pencegah kondisi sensor lock-up.
6. Membuat catu daya +5v dengan konsumsi daya rendah 30 μ W.



Gambar 2.8. Sensor Kelembapan Udara DHT11

2.5. Sensor Cahaya

Sensor BH1750 yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 merupakan sensor cahaya digital. Karena sensor ini merupakan jenis digital dan bukan analog, menyebabkan data yang dihasilkan dapat diproses secara langsung dengan lebih mudah. Keluaran berupa lux(lx) dapat diukur secara langsung pada sensor jenis ini.



Gambar 2.9. Sensor Cahaya BH1750

Sensor BH1750 memiliki tegangan sebesar 5V dan akan dikonversikan pada logic level converter untuk menurunkan tegangan awalnya 5V menjadi 3,3V. Pin pertama pada sensor cahaya adalah VCC dengan tegangan positif 5V, dihubungkan pada logic level converter 5V menjadi 3,3V. Pin ke dua adalah GND (Ground) bermuatan negatif dengan tegangan 5V akan dihubungkan pada channel logic level converter untuk diturunkan menjadi 3,3V. Pin ke tiga adalah SCL dan pin ke empat adalah SDA yang akan dihubungkan pada input output.

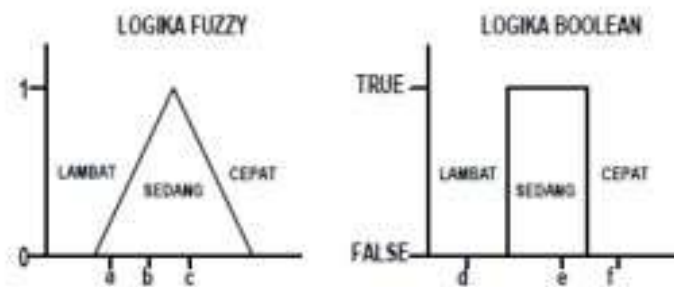
2.6. Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak

dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis (Sri Kusumadewi, 2002).

Logika *fuzzy* merupakan salah satu cabang dari ilmu komputer yang mempelajari tentang nilai kebenaran yang bernilai banyak. Berbeda dengan nilai kebenaran pada logika klasik yang bernilai 0 (salah) atau 1 (benar). Logika *fuzzy* mempunyai nilai kebenaran real dalam selang $[0,1]$. Logika *fuzzy* pertama kali dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh seorang ilmuwan Amerika Serikat berkebangsaan Iran dari Universitas California di Berkeley. Meskipun demikian, logika *fuzzy* lebih banyak dikembangkan oleh praktisi Jepang (Novan Parmongan, 2011).

Ungkapan logika *Boolean* menggambarkan nilai-nilai “benar” atau “salah”. Logika *fuzzy* menggunakan ungkapan misalnya : “sangat lambat”, ”agak sedang”, “sangat cepat” dan lain-lain untuk mengungkapkan derajat intensitasnya. Ilustrasi antara keanggotaan *fuzzy* dengan *Boolean set* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2.10 Pendefinisian kecepatan dalam bentuk logika *fuzzy* dan logika *Boolean*

a=sangat lambat	d= lambat
b=agak sedang	e =sedang
c=sedikit cepat	f =cepat

- Komponen Dasar Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* mempunyai beberapa komponen antara lain (Novan, Parmongan, 2011) :

a. Variabel linguistik.

Variabel ini merupakan variable yang memiliki nilai linguistik. Contoh variabel linguistik adalah kecepatan, jumlah kendaraan.

b. Nilai linguistik.

Nilai linguistik atau *terma* merupakan nilai dari variable linguistik, contohnya untuk variable linguistik jumlah kendaraan bisa berupa tidak ada, sedikit, sedang, banyak, sangat banyak.

c. Nilai kuantitatif dan derajat keanggotaan.

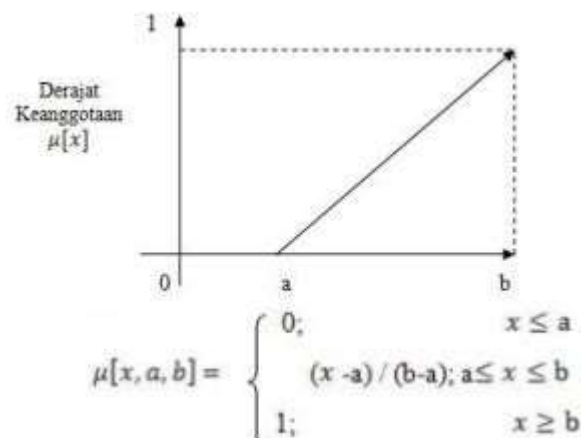
Nilai kuantitatif merupakan nilai eksak yang mewakili nilai linguistik. Nilai kuantitatif setiap *terma* ditentukan oleh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini menunjukkan derajat keanggotaan dari sebuah predikat.

d. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan logika *fuzzy* digunakan untuk menghitung derajat keanggotaan suatu himpunan *fuzzy*. Setiap istilah linguistik diasosiasikan dengan *fuzzy set*, yang masing-masing memiliki fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan 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. Adalah fungsi keanggotaan yang biasa digunakan dalam penalaran logika fuzzy, diantaranya:

1) Representasi Linear

Pada representasi *linear*, pemetaan *input* ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai sebuah garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada dua keadaan himpunan *fuzzy 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 yang disebut dengan representasi fungsi linear naik. Representasi fungsi keanggotaan untuk linear naik adalah sebagai berikut :



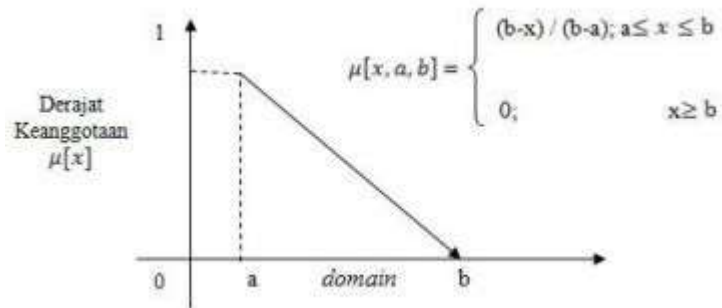
Gambar 2.11 Grafik dan rumus representasi linear naik Keterangan:

a= nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol b=

nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

x=nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

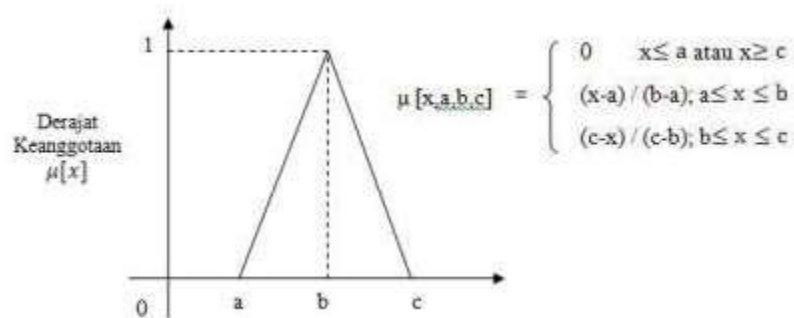
Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai *domain* dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Representasi fungsi keanggotaan untuk linear turun adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12 Grafik dan rumus representasi linear turun

2) Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (*linear*). Nilai-nilai disekitar b memiliki derajat keanggotaan turun cukup tajam (menjauhi 1).



Gambar 2.13 Grafik dan rumus representasi kurva segitiga Keterangan:

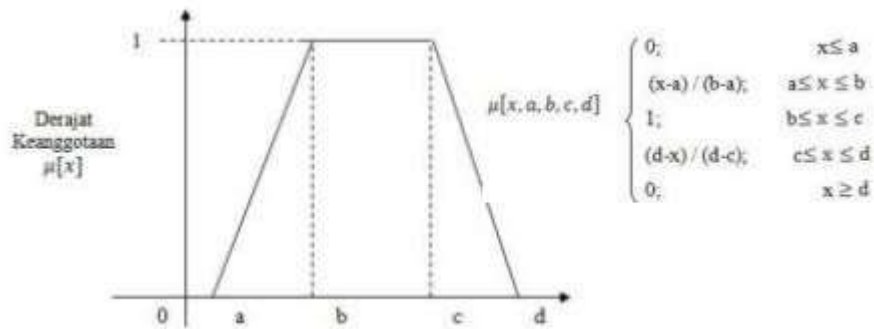
a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu c =

nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

3) Representasi Kurva Trapezium

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



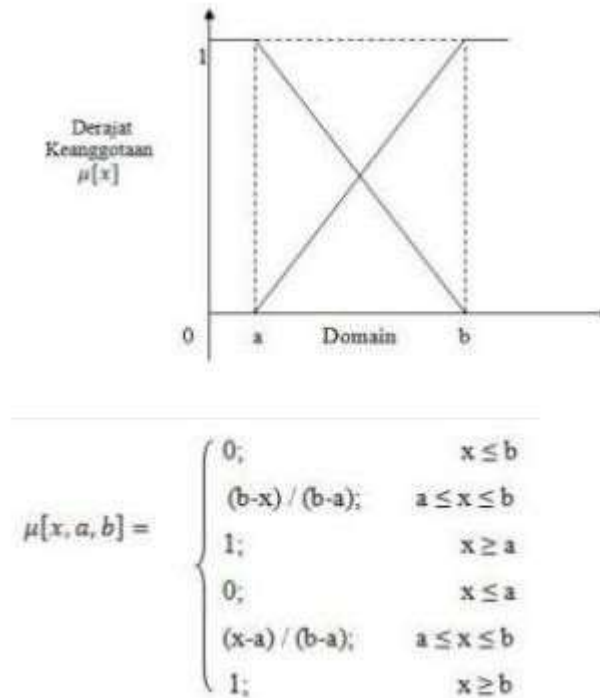
Gambar 2.14 Grafik dan rumus representasi kurva trapesium Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol b = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu d = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol x=nilai input yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy.

4) Representasi Kurva

Bentuk Bahu Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik turun. Tetapi terkadang salah satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan.

Himpunan fuzzy “bahu”, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah fuzzy. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar.



Gambar 2.15 Grafik dan rumus representasi kurva bentuk bahu

e. Rule dan Implikasi.

Implikasi merupakan cara untuk menyatakan rule. Misalkan diberikan komposisi rule A dan rule B, maka Implikasi dinyatakan dalam :

IF A THEN B Keterangan :

A disebut antesenden. B disebut konsekuen.

Implikasi ini digunakan untuk menentukan nilai linguistik dan nilai kuantitatif dari B jika diberikan A. Bisa digunakan berbagai macam teknik, tapi untuk metode Mamdani, yang digunakan adalah metode min (sama seperti AND). Proses mekanisme dari logika *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2.16 Blok diagram logika fuzzy 2.1.2 Fuzzy Inference System

Fuzzy Inference System (FIS) merupakan sistem penarikan kesimpulan dari sekumpulan kaidah fuzzy, dapat berupa input nilai eksak maupun *rules* dalam kaidah fuzzy. Proses *fuzzy inference* dapat dibagi dalam lima bagian (A. Naba, 2009), yaitu :

- *Fuzzyfikasi Input* : FIS mengambil masukan-masukan dan menentukan derajat keanggotaannya dalam semua fuzzy set.
- *Operasi logika fuzzy* : Hasil akhir dari operasi ini adalah derajat kebenaran *antecedent* yang berupa bilangan tunggal.
- *Implikasi* : Merupakan proses mendapatkan *consequent* atau keluaran sebuah IF THEN rule berdasarkan derajat kebenaran *antecedent*. Proses ini menggunakan mengambil nilai MIN/terkecil dari dua bilangan : Hasil operasi *fuzzy logic OR* dan *fuzzy set* banyak.
- *Agregasi* :Yaitu proses mengkombinasikan keluaran semua IF-THEN rule menjadi sebuah fuzzy set tunggal. Pada dasarnya agregasi adalah operasi *fuzzy logic OR* dengan masukannya adalah semua fuzzy set.
- *Defuzzyfikasi* : Keluaran dari defuzzyfikasi adalah sebuah bilangan tunggal, cara mendapatkannya ada beberapa versi, yaitu *centroid*, *bisector*, *middle of maximum*, *largest of maximum* dan *smallest of maximum*.

- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference sistem yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model *Tagaki-SugenoKang (TSK)* orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Contoh ilustrasi mekanisme inferensi fuzzy *TSK* orde satu dengan dua masukan x dan y . Basis aturan dengan dua aturan fuzzy *if-then* seperti dibawah ini :

Rule 1 : if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ premis
consequent

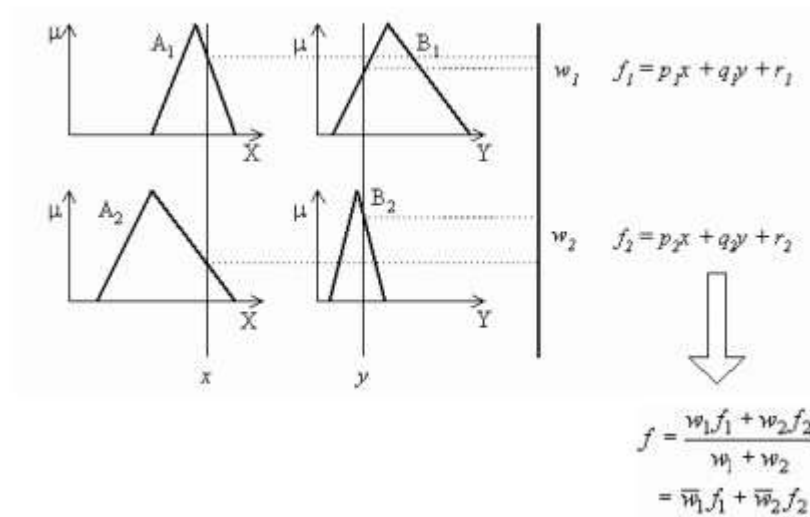
Rule 2 : if x is A2 and y is B2 then f2 = p2x + q2y + r2

premis

consequent

Input : x dan y.

Consequent-nya adalah f.



Gambar 2.17 Sistem inferensi fuzzy TSK dua masukan dengan dua aturan

Berdasarkan gambar 2 tiap-tiap *input* tersebut dibagi jadi 2 fungsi keanggotaan, x dibagi dalam A1 dan A2 anggap misalnya A1 menyatakan *small* dan A2 menyatakan *big*. Begitu juga y dibagi dalam fungsi keanggotaan B1 yang menyatakan *small* dan B2 yang menyatakan *big*. Dari pemetaan tersebut x dan y sudah jadi variabel *fuzzy* yang masing-masing punya nilai m *small* dan *big* tertentu. x mempunyai nilai mA1 dan mA2 sedangkan y punya nilai mB1 dan mB2. Nilai masing-masing pasangan input tersebut lalu diagregasi dengan operasi *T-norm*, misalnya operasi ini adalah operasi *AND*. Jadi $w_1 = (mA1 \text{ AND } mB1)$ sedangkan $w_2 = (mA2 \text{ AND } mB2)$.

Berdasarkan aturan yang telah ada, didapatkan :

if $w = w_1$ then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ if

$w = w_2$ then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Telah didapatkan hasil dari f_1 dan f_2 . Ini merupakan nilai *output* sinyal kontrol, yaitu tegangan. Terjadi pemindahan dari domain input x dan y (kecepatan) ke domain *output* f (tegangan). Tetapi itu adalah nilai p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 , dan r_2 dimana itu merupakan nama parameter konsekuen yang ditentukan dengan nilai awal tertentu dan akan berubah dengan pembelajaran (algoritma belajar). Selanjutnya diperlukan satu nilai dari tegangan sebagai sinyal kontrol dari nilai f_1 dan f_2 . Nilai akhir tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2}$$

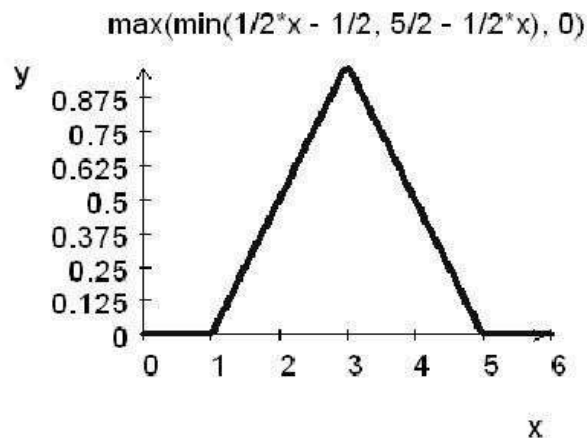
$$= \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2.$$

Ini namanya *defuzzyfikasi*. Rumus tersebut sebenarnya diperoleh dari salah satu metode *defuzzyfikasi* yaitu metode rata-rata tengah (Adi, Anton. 2000).

Logika fuzzy mamdani merupakan suatu metode yang mengalokasikan ruang input ke dalam ruang output. Terdapat beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy [8]:

1. Mudah dimengerti
2. Sangat fleksibel
3. Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat
4. Memiliki kemampuan memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks
5. Mampu membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa proses pelatihan
6. Mampu bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional
7. Memiliki dasar pada bahasa alami

Logika Fuzzy diawali dengan himpunan *crisp*. Himpunan Crisp membuat kemungkinan himpunan hanya dibagi menjadi dua menjadi anggota atau tidak menjadi anggota. Himpunan tegas itu membuat data tertentu menjadi tidak tergolong menjadi bagian anggota yang benar. Hal ini dikarenakan tidak mempertimbangkan adanya kualifikasi diantara nilai tegas. Besar eksistensi himpunan dapat dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan (*membership function*) digambarkan dengan kurva yang dipetakan dengan dengan titik-titik yang merupakan suatu nilai. Salah satu representasi fungsi keanggotaan adalah representasi menggunakan kurva segitiga seperti gambar 2.6.

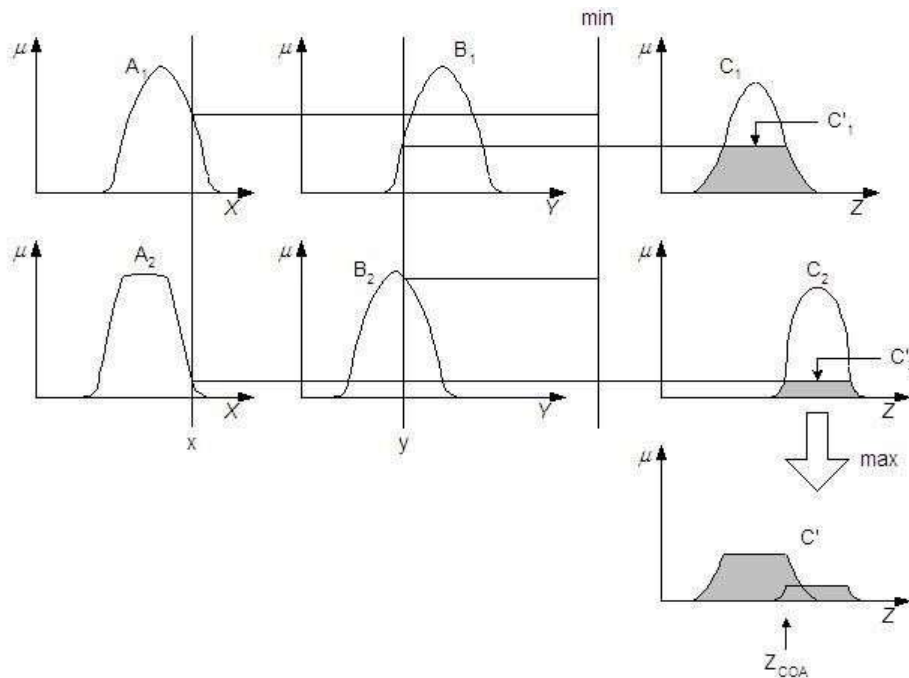


Gambar 2.18. Representasi fungsi keanggotaan segitiga

Fungsi keanggotaan :

$$\mu_{A_1}(x) = \max(0, \min(\frac{x - a_1}{b_1 - a_1}, \frac{c_1 - x}{c_1 - b_1}))$$

Penarikan kesimpulan pada Fuzzy dapat ditangani dengan sistem inferensi. Salah satu sistem inferensi yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy metode mamdani. Proses pengontrolan menggunakan sistem inferensi Fuzzy metode mamdani dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.19. Inferensi Fuzzy Model Mamdani untuk dua rule

Setelah melalui proses Fuzzy Inferensi, proses selanjutnya adalah defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi berfungsi untuk merubah nilai Fuzzy menjadi nilai *crisp*. Data yang sudah diolah dalam bentuk fuzzy akan dirubah kembali menjadi data bernilai crisp sebelum mendapatkan output akhir sebagai kesimpulan.