# BAB II
# KAJIAN PUSTAKA

## 2.1. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang memiliki hubungan dengan robot yang memiliki kemampuan penyeimbang adalah "*Perancangan Sistem Propotional Integral Derivative Pada One Wheel Balancing Robot*" yang dibuat oleh (Budi Sutandar, 2010), Penelitian ini dilakukan untuk menyeimbangkan robot roda satu dengan permasalahan dapat menjadi transportasi alternatif bagi manusia.

Gimbal sendiri merupakan pengembangan dari hasil studi robotika yang popular dengan robot *self-balancing*. *Self-balancing robot* merupakan robot yang memiliki prinsip kerja yang hampir mirip dengan sistem pendulum terbalik (Geoffrey D, Benneth, 2007). Hal ini yang menjadi dasar penelitian terhadap sistem kesetimbangan dengan menggunakan *brushless* motor sebagai aktuatornya, gimbal sediri akan diterbangkan bersama *quadcopter* sebagai media pengangkat untuk melakukan pemantauan udara atau *aerial photography*.

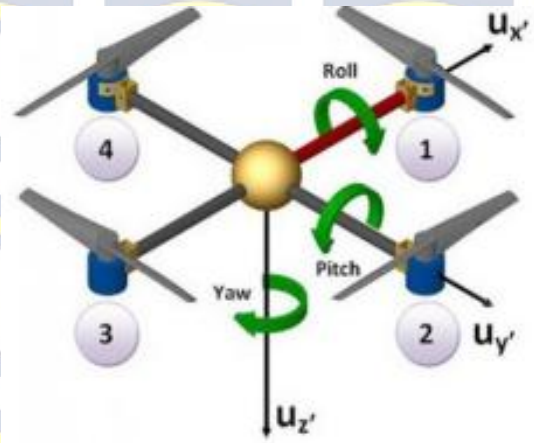
Perubahan sudut yang terjadi pada *quadcopter* baik pada rotasi *roll* dan *pitch* diumpankan ke dua motor gimbal kamera dengan arah rotasi gerak yang berkebalikan dengan arah rotasi gerak *quadcopter*.

Untuk mengetahui sudut pada gimbal digunakan sensor IMU yang terdiri dari sebuah accelerometer dan gyroscope. Sensor *accelerometer* dapat mengukur sudut dengan baik saat diam, dan sensor *gyroscope* dapat mengukur sudut saat benda bergerak(Vidi Rahman Alma'i.2014). Penggabungan data pengukuran dilakukan dengan *complementary filter*. Ketika dua sensor ini digabungkan mengunakan *complementary filter* maka akan dihasilkan pembacaan sensor yang

stabil. Metode *fuzzy logic* digunakan sebagai metode pengendalinya yang mana akan menetukan besarnya kecapatan dan arah putaran motor *brushless* berdasarkan sudut kemirangan *quadcopter*. Sehingga gimbal kamera ini dapat mempertahankan sudut pandang kamera saat terjadi manuver ataupun gangguan aerodinamis pada *quadcopter*.

### 2.1.1 *Quadcopter*

*Quadcopter* adalah salah satu jenis *UAV* (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang memiliki empat buah rotor sebagai pengangkatnya. *UAV* jenis ini dapat melakukan banyak pergerakan saat terbang di udara (Yusuf, Zam.2012). Tiap motor pada *quadcopter* bertanggung jawab dalam pergerakan dan energi putarannya, begitu juga dengan gaya tarikan yang berlawanan dari arah terbang quadcopter. Baling-baling pada *quadcopter* tidak sepenuhnya sama dalam pergerakannya. Pada prosesnya, baling-baling ini dibagi menjadi 2 pasang, 2 baling-baling pendorong dan 2 baling-baling penarik yang bergerak dalam putaran yang berlawanan. Dapat terlihat gerakan *quadcopter* sebagai berikut.




Gambar 2.1.: Koordinat arah *quadcopter*.

## 2.2. *Microcontroller*

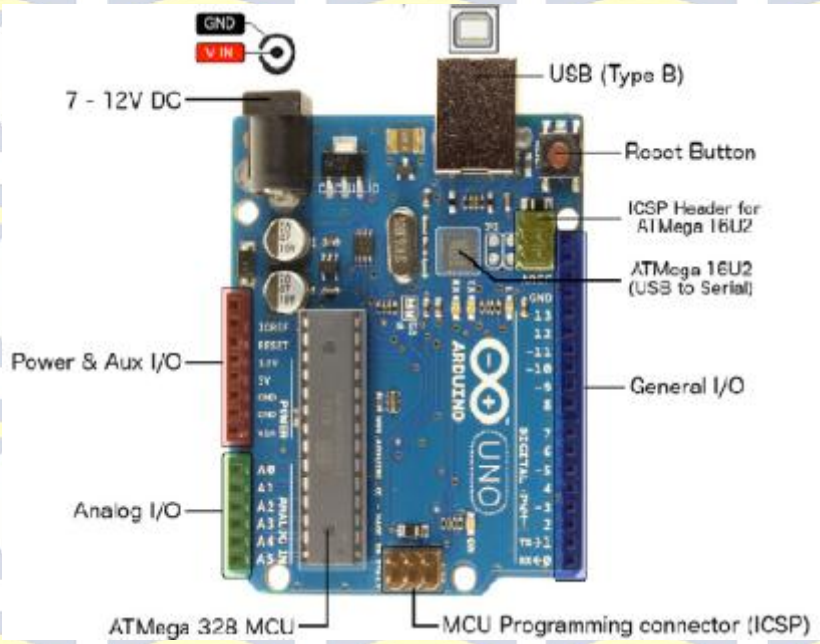
*Microcontroler* merupakan mikrokomputer yang dikemas secara internal dalam sebuah *IC / Chip* atau biasa disebut s*ingle chip computer* yang memiliki kemampuan untuk diprogram dan digunakan khusus untuk keperluan instrumentasi dan pengendalian. Jadi didalam sebuah mikrokontroller selain memiliki CPU juga terdapat *memory* dan perangkat I/ O.

### 2.2.1. Arduino

*Arduino* dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata "*platform"* di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)* yang canggih.

Arduino Uno adalah board berbasis mikrokontroler pada *ATmega328* yang memiliki 14 pin digital input / output (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah *header ICSP*, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukuang sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat menggunakannya.

Arduino Uno menggunakan ATmega yang diprogram sebagai USB to-serial *converter* untuk komunikasi serial ke komputer melalui *port USB.* Tampak atas Arduino Uno dapat dilihat pada gambar 2.2.




*Gambar 2.2:. Bord ArduinoUno*

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut :

- Mikrokontroler : ATMEGA328
- Tegangan Operasi : 5V
- Tegangan Input (*recommended*) : 7 - 12 V
- Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- Pin Analog input : 6
- Arus DC per pin I/O : 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3 V : 50 mA
- Flash Memory : 32 KB dengan 0.5KB digunakan untuk *bootloader*
- SRAM : 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz

### 2.2.2. Sistem Komunikasi Pada *Arduino Uno*

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk dapat berkomunikasi dengan komputer, maupun mikrokontroler lainnya. Atmega328 ini menyediakan serial komunikasi UART TTL (5V), yang tersedia pada pin digital 0 (Rx) dan 1 (Tx). Sebuah Atmega pada saluran board komunikasi serialnya 9 melalui USB dan muncul sebagai *com port virtual* untuk perangkat lunak pada komputer. *Firmware Arduino* menggunakan USB driver standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang dibutuhkan.

Bagaimanapun pada windows, sebuah *file.inf* pasti dibutuhkan. Perangkat lunak Arduino termasuk serial monitor yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke board arduino. *Led Rx* dan *Tx* pada *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui *chip USB*-to serial dan koneksi USB ke komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1*). Atmega* juga mendukung komunikasi I2C dan SPI.

Dengan semua kemampuan dari arduino yang sudah dipaparkan seperti diatas maka dalam penelitian pun idipilih menjadi pusat *control* sistem ,selain karena harganya murah,fitur yang ada pada Arduino uno dianggap sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan dari sistim yang akan dikembangkan.

## 2.3. Sensor MPU6050

Sensor yang digunakan pada gimbal kamera ini adalah sensor *gyroscope* dan *accelerometer*. Kedua sensor ini dikombinasikan oleh suatu modul MPU6050. MPU6050 merupakan salah satu produk sensor *MEMS Motion Tracking* yang diproduksi oleh perusahaan Invensense. (M. Qvale.2014).

*Accelerometer* adalah suatu sensor yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, mengukur percepatan gravitasi

bumi, dan juga dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan posisi pada suatu perangkat sekaligus menghitung nilai perubahannya. Percepatan sendiri dapat diukur dalam satuan SI, seperti meter per detik kuadrat (m/s2 ), atau untuk percepatan gravitasi bumi, diukur dalam satuan g-force (g) dimana 1g = 9,8 m/s2

*Accelerometer* merupakan alat sensor yang peka terhadap gerak linier terhadap 3 sumbu gerakan yakni kanan-kiri, atas-bawah dan depan belakang , *Accelerometer* dapat digunakan untuk mendeteksi kemiringan pada pergerakan pitch dan roll. Untuk menghitung kemiringan pada pitch dan roll, rumusnya adalah

$$Pitch = arc\tan\left(\frac{x}{z}\right) * \left(\frac{360}{2\pi}\right) \quad \text{.....(1)}$$

$$Roll = arc\tan\left(\frac{y}{z}\right) * \left(\frac{360}{2\pi}\right) \quad \text{.....(2)}$$

dimana,

x = Percepatan gravitasi di sumbu x (dalam satuan g)

y = Percepatan gravitasi di sumbu y (dalam satuan g)

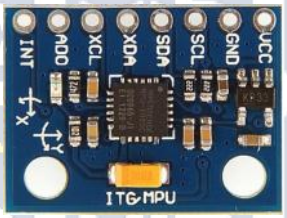
Gyroscope berfungsi untuk mengukur atau menentukan orientiasi suatu benda berdasarkan pada ketetapan momentum sudut. Dari pengertian lain gyroscope berfungsi untuk menentukan gerakan sesuai dengan gravitasi yang dilakukan oleh pengguna. Gyroscope ini memiliki peranan yang sangat penting dalam hal mempertahankan keseimbangan suatu benda seperti penggunaannya pada pesawat terbang yang dapat menentukan kemiringan pada sumbu x,y, dan z. Output yang dihasilkan oleh gyroscope berupa kecepatan sudut yang pada sumbu x akan menjadi phi (Φ), sumbu y menjadi theta (θ), dan sumbu z menjadi psi (Ψ). Prinsip kerja dari gyroscope ini adalah pada saat gyroscope berotasi maka

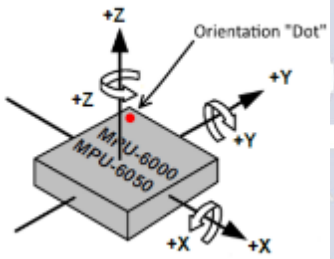
gyroscope akan memiliki nilai keluaran. Apabila gyroscope berotasi searah dengan jarum jam pada sumbu Z maka tegangan ouput yang dihasilkan akan mengecil sedangkan jika gyroscope berotasi berlawan arah dengan jarum jam pada sumbu Z maka tegangan output yang dihasilkan akan membesar. Pada saat gyroscope tidak sedang berotasi atau berada pada keadaan diam maka tegangan ouputnya akan sesuai dengan nilai *offset* gyrosensor tersebut. Untuk melihat data gyroscope dengan mikrokontroler dapat menggunakan port ADC. Nilai keluaran pada sensor diubah menjadi radian/second (rad/s) lalu diubah kembali menjadi *degree/second (deg/s).* Konversi data dari output ADC 16 bit ke percepatan gravitasi bumi adalah:

a = OutputADC/ Faktor Pembagi……(3)

dimana,

a = Percepatan gravitasi di salah satu sumbu accelerometer (x, y atau z) dalam ( g force).




Gambar 2.3: MPU6050

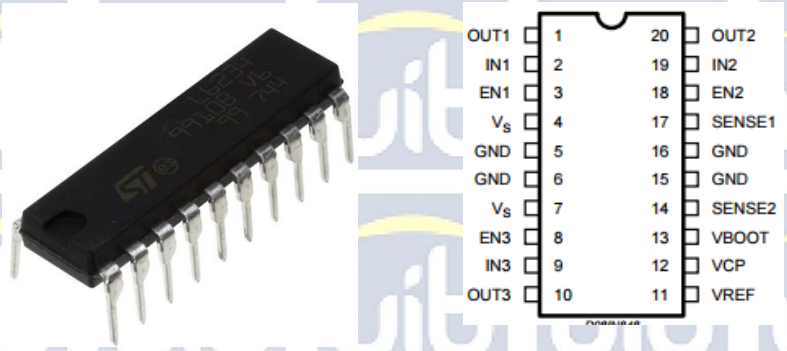
Adapun kemapuan khusus pada sensor MPU 6050 ini antara lain:

1. Sensitifitas Accelerometer yang dapat dipilih mulai 2/4/8 samapai 16 g
2. Sensitifitas Gyrocope yang dapat dipilih mulai 250/500/1000 sampai 2000 degrees/s

3. Range 16 bit untuk kedua sensor 4. Sensitivitas percepatan linier dari Gyroscope 0,1 derajat/*s* data *rate output* hingga 1000Hz,dan dilengkapi digital lowpassfilter dan memiliki frekuensi sudut maksimum 256Hz. Untuk melakukan.

## 2.4. IC L6234

L6234 adalah sebuah IC (*Integrated Circuit*) dari STMicroelectronics yang memiliki tiga buah *half bridge* yang berfungsi sebagai *driver* untuk *brushless DC motor*. IC ini memiliki teknologi *BCDmultipower* yang menggabungkan transistor *power* DMOS terisolasi dengan CMOS dan sirkuit bipolar dalam satu *chip*. Dengan menggabungkan teknologi tersebut, memungkinkan pengoptimalan dari sirkuit logika dan *power* untuk mencapai kinerja terbaik. IC L6234 memiliki rentang tegangan sumber dari 7 V hingga 52V, dengan arus maksimum hingga 5 A dan frekuensi pengoperasian hingga 150 KHz.




Gambar 2.4: IC L6234 dan konfigurasi Pin
(Sumber: DataSheet IC L6234)

Fungsi Pin Driver Motor BLDC IC L6234

1. Pin EN (Enable, EN1,EN2,EN3.) berfungsi untuk mengijinkan driver menerima perintah untuk menggerakan motor BLDC Logic Low.

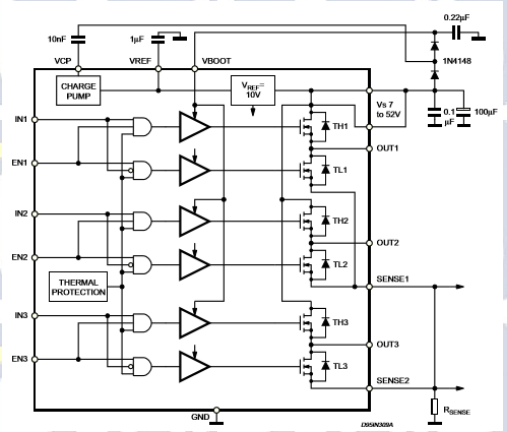
2. Pin In (Input, 2 , 9 , 19) adalah pin input sinyal kendali motor BLDC Logic Hight.

3. Pin Out (Output,1,10 , 20) adalah jalur output masing-masing driver yang dihubungkan ke motor BLDC.

4. Pin (Vs 4 dan Vs7 ) adalah jalur input tegangan sumber driver motor DC, dimana Vs4 adalah jalur input sumber tegangan rangkaian kontrol dirver dan Vs7 adalah jalur input sumber tegangan untuk motor BLDC yang dikendalikan.

*5.* Pin GND (Ground) adalah jalu yang harus dihubungkan ke ground, pin GND ini ada 4 buah yang berdekatan dan dapat dihubungkan ke sebuah pendingin kecil.

Berikut adalah blok diagram dari IC l 6234 yang terdiri dari 3 buah transistor didalmnya yaitu Mosfet, Fet,dan Bipolar Transisitor yang disusn menjadi *half bridge* pengndai pada motor *brushless*




Gambar 2.5 Blok diagram IC l 6234

(Sumber*: Data sheet* IC L6234)

Driver motor L6234 memiliki feature yang lengkap untuk sebuah driver motor *BLDC* sehingga dapat diaplikasikan dalam mengendalikan jenis motor *brushless*. Fitur yang dimiliki oleh IC L6234 sesuai dengan datasheet adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1: Tabel Feature IC L6234

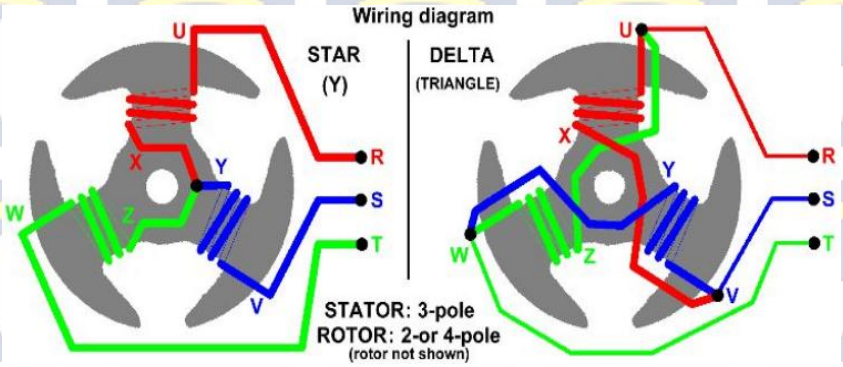
Sumber: DataSheet IC L6234

| Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|
| VS | 7 to 42 | V |
| VIN,VEN | – 0.3 to 7 | V |
| I peak | 5 | A |
| VSENSE | -1 to 4 | V |
| VOD | 52 | V |
| f | 50 | KHz |

## 2.5. Motor Brushless

Motor *brushless* atau motor DC tanpa sikat merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor ini menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putarannya, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya yang halus. (Tri Sutrisno.2012.) .

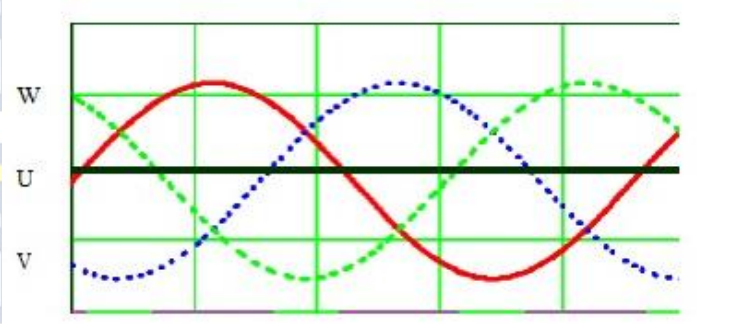
Motor *brushless* ini terdiri dari dua bagian,yakni rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak yang terbuat dari magnet permanen dan stator yang merupakan bagian yang diam. Stator terbuat dari kumparan 3 fasa




Gambar 2.6: Wiring diagram BLDC

(Sumber: Tri Sutrisno.2012)

Berdasarkan gambar 2.5, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada stator.



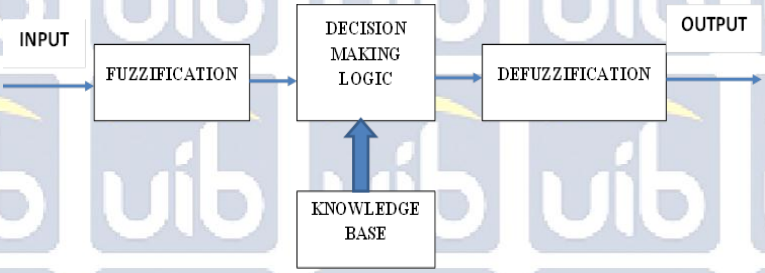

Gambar 2.7:Tegangan stator BLDC Motor
Sumber : Abe Dharmawan, FT UI 2009

Berdasarkan gambar 2.6, ketika stator U diberikan tegangan negative maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negative sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator U, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC sinusoidal, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah – ubah polaritasnya dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negative akibat mendapatkan tegangan negative dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negative akan berputar menuju medan magnet stator W dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negative dan U serta W

memiliki medan magnet positif, bagian positif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negative akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada motor *brushless* dapat berputar. (Dharmawan, Abe 2009.)

## 2.6. *Fuzzy Logic Controller*

*Fuzzy* dalam bahasa inggris memiliki arti kabur atau tidak jelas, sehingga logika *fuzzy* adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian.




Gambar 2.8: Blok Diagram *Fuzzy Logic Controller*

Logika *fuzzy* berbeda dari logika biasa atau logika tegas yang hanya memgenal dua nilai seperti salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan logika *fuzzy* mengenal nilai diantara benar dan salah. Kebenaran dalam logika *fuzzy* dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 hingga 1.

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Prof. Lotfi A. Zadeh dari Universitas California. Awalnya, logika *fuzzy* dikembangkan dari teori himpunan *fuzzy*. Prof. Lotfi A. Zadeh mengembangkan kelebihan fuzzy diantaranya dapat meringkas suatu sistem yang kompleks dengan sedikit data *numeric*. Logika fuzzy telah banyak diterapkan dalam bidang kontrol otomatis

dan industri, diantaranya digunakan sebagai pengontrol pemrosesan citra, kendali motor dan lain lain. Ada beberapa jenis fuzzy yang sering digunakan dalam proses kontrol antara lain:

- *Fuzzy Tsukamoto*
- *Fuzzy Sugeno*
- *Fuzzy Mamdani*

Adapun perbedaan dari ketiga sistem tersebuta dinyatakan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 2.2: Tabel Perbandingan *Jenis Fuzzy*

(Sumber: Penalaran *Fuzzy* 2014)

| Penalaran | Input | Output | Defuzzifikasi | Penggunaan |
|---|---|---|---|---|
| Tsukamoto | Himpunan *Fuzzy* | Himpunan fuzzy | Weight Average | *Humanis Control* |
| Mamdani | Himpunan *Fuzzy* | Himpunan fuzzy | COG<br>LOM<br>SOM<br>MOM<br>BISECTOR | *Humanis* |
| Sugeno | Himpunan *Fuzzy* | Konstanta Linear ( Orde I) | Weight Average | *Control* |

Secara umum, proses perancangan pengendali logika *fuzzy* dinyatakan dalam bentuk skema seperti yang diperlihatkan pada tabel 2.2 Dalam logika fuzzy, pengambilan keputusan dilakukan dengan menggunakan sistem *inferensi*. Proses dalam sistem *inferensi fuzzy* terbagi menjadi fuzzifikasi (pengubahan bilangan crisp ke dalam bentuk bilangan fuzzy), pembentukan rule base (basis aturan fuzzy), sistem inferensi/ penalaran fuzzy, dan defuzzifikasi (pengubahan bilangan fuzzy hasil dari proses inferensi fuzzy ke dalam bentuk bilangan crisp). (Cox, E 1994).

Dari ketiga jenis *fuzzy* diatas perbedaan yang mendasar ialah pada algoritma pada saat *defuzzifikasi*juga saat penetapan rull nantinya. Maka dari itu pada sistem kontrol yang menggunkan umapan balik dari sitemnya algoritma pada jenis *fuzzy* lebih sederhana untuk diaplikasikan. Mamdani-FIS (*Fuzzy Inference System)* merupakan salah satu metode penalaran yang paling sering digunakan untuk persoalan kendali logika fuzzy. Metode ini dikemukakan oleh Mamdani dan Assilian pada tahun 1975. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ari Fatmawati pada tahun 2013, yang meneliti perbandingan antara sistem kotrol motor DC dengan menggunakan sistem *Fuzzy Mamdani* menyatakan kendali fuzzy unggul pada kecepatan rise time, kecapatan setting time, kecepatan recovery time, dan peredaman steady state error.(Fatmawati.2013).

Adapun kelebihan dari logika *fuzzy* antara lain sebagai berikut:

- Berasal dari konsep matematis yang sederhana, sehingga konsep logika *fuzzy* mudah dipahami.
- Memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- Logika *fuzzy* dapat memodelkan fungsi nonliniear yang kompleks.
- Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- Logika *fuzzy* dapat dikombinasikan dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- Logika *fuzzy* memiliki daya guna yang lebih baik di berbagai aspek, tidak hanya khusus untuk kendali mesin namun dapat digunakan juga untuk dalam sistem mengambil keputusan.

Terdapat 3 tahap utama dalam proses *fuzzy logic* yaitu :

### *2.6.1 Fuzzifikasi*

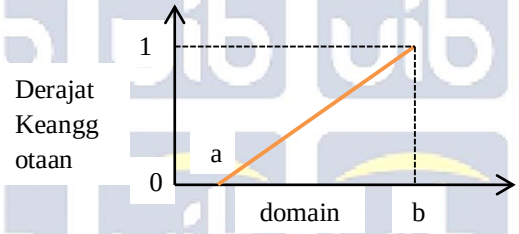
*Fuzzifikasi* adalah proses pemetaan variable input yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi keanggotaan *fuzzy* yang kemudian diolah di dalam mesin penalaran. Fungsi keanggotaan merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik input data ke dalam derajat keanggotaan yang memiliki nilai interval antara 0 sampai 1. Cara untuk mendapatkan nilai keanggotaan yaitu dilakukan dengan menggunakan pendekatan fungsi. Adapun fungsi yang biasa digunakan sebagai berikut:

**A. Representasi Linier**

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Ada dua keadaan himpunan fuzzy yang linear, (Arief Tyas 2013).

**a) Linier Naik**

Kenaikan himpunan dimula dari nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol, kemudian bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi



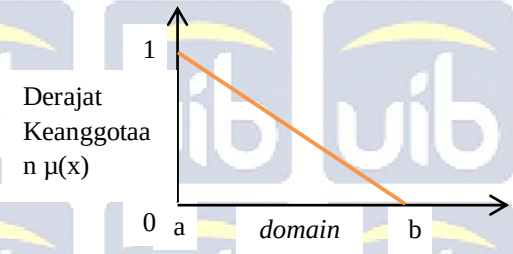

Gambar 2.9: Representasi Linier Naik

Dari Gambar 1.11 didapat fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{pmatrix} 0 & ;x \le a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ;a \le x \le b \\ 1 & ;x \ge b \end{pmatrix} \quad \text{..... (4)}$$

**b) Linier Turun**

Repersentasi linear turun merupakan kebalikan dari linear naik. 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.



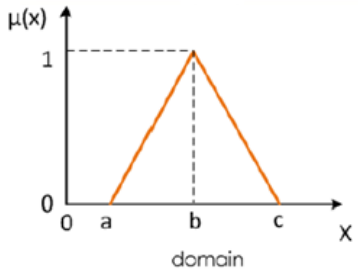

Gambar 2.10:. Representasi Linier Turun

Dari Gambar 1.1.2, didapat fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{pmatrix} 1 & ;x \le a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)} & ;a \le x \le b \\ 0 & ;x \ge b \end{pmatrix} \quad \text{.....(5)}$$

**B. Representasi Kurva Segitiga**

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis (linear).



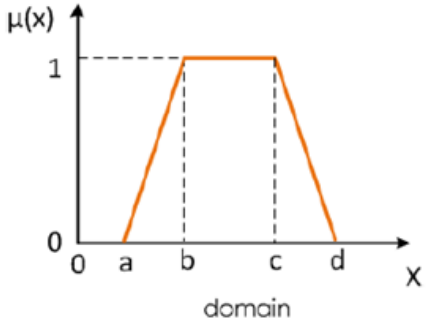

Gambar 2.11: Representasi Kurva Segitiga

Adapun fungsi keanggotaan nya sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{pmatrix} 0\,; x \leq x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}; b \leq x \leq c \end{pmatrix} \quad \text{..... (6)}$$

### C. Representasi Kurva Trapesium

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




Gambar 2.12: Representasi Linear Trapesium

Representasi kurva trapesium memiliki fungsi keanggotaan sebagai berikut:

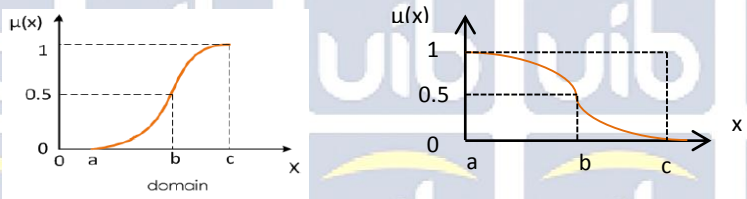
$$\mu(x) = \begin{pmatrix} 0\,; x \leq a, x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; a \leq x \leq b \\ 1\,; b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; c \leq x \leq d \end{pmatrix} \quad \text{..... (7)}$$

### D. Representasi Kurva Tipe S

Kurva tipe S merupakan jenis kurva yang menyatakan penyusutan dan pertumbuhan. Kurva S atau *sigmoid* erat kaitannya dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear. Kurva S yang menyatakan pertumbuhan akan bergerak dari sisi kiri dengan nilai keanggotaan 0 menuju ke sisi kanan

dengan nilai keanggotaan 1. Fungsi keanggotaan akan bertumpu pada 50 % nilai keanggotaan nya sering disebut dengan titik infleksi. Untuk kurva penyusutan akan bergerak dari sisi kanan dengan nilai keanggotaan 1 menuju ke sisi kiri dengan nilai keanggotaan 0. Untuk mendefinisikan kurva S digunakan 3 parameter yaitu nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ) dan titik infleksi atau *crossover* (β).

Untuk fungsi keanggotaan kurva *sigmoid* pertumbuhan terdapat pada persamaan (5) sedangkan fungsi keanggotaan kurva *sigmoid* penyusutan terdapat pada persamaan (6) di bawah ini.



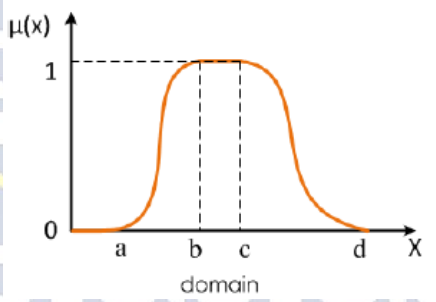

Gambar 2.13: Representasi Kurva *Sigmoid* Pertumbuhan (kiri) dan Penyusutan (kanan)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 ; x \le a \\ 2\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}\right)^2 ; a \le x \le b \\ 1 - 2\left(\frac{(c-x)}{(c-a)}\right)^2 ; b \le x \le c \\ 1 ; x \ge c \end{cases} \quad \text{..... (8)}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 ; x \le a \\ 1 - 2\left(\frac{(c-x)}{(c-a)}\right)^2 ; a \le x \le b \\ 2\left(\frac{(x-a)}{(b-a)}\right)^2 ; b \le x \le c \\ 0 ; x \ge c \end{cases} \quad \text{.....(9)}$$

## E. Representasi Kurva Tipe Phi

Kurva Phi berbentuk lonceng seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.14




Gambar 2.14: Representasi Kurva Phi

Dengan derajat keanggotaan I terletak pada pusat dengan domain (γ) dan lebar kurva (β).

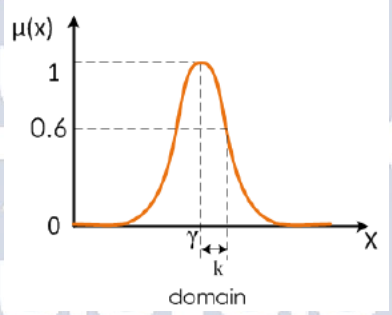
Adapun fungsi keanggotaan kurva Phi sebagai berikut:

$$\mu(x,\beta,\gamma) = \begin{cases} 0\,;x \le a \\ 2\left(\frac{x-a}{x-b}\right)^2\,;a < x \le \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2\,;\frac{a+b}{2} < x < b \\ 1\,;b \le x \le c \\ 1-2\left(\frac{x-c}{d-c}\right)^2\,;c < x \le \frac{c+d}{2} \\ 2\left(\frac{x-d}{d-c}\right)^2\,;\frac{a+b}{2} < x < d \\ 0\,;x \ge d \end{cases} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

## F. Representasi Kurva Tipe Gaussian

Kurva Gaussian menggunakan γ untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva, dan (k) untuk menunjukkan lebar kurva, sehingga fungsi keanggotaan nya sebagai berikut:

$$\mu(x,\gamma,k) = exp\left[-\frac{1}{2}\left|\frac{x-\gamma}{k}\right|^2\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$




Gambar 2.15: Representasi Kurva Tipe Gaussian

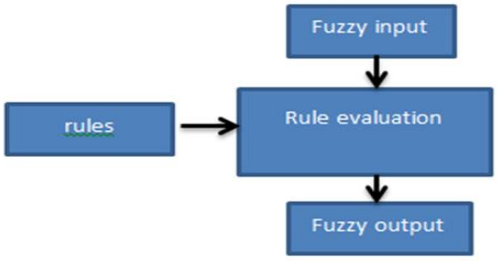
### 2.6.2 Evaluasi Aturan (*Rule Evaluation*)

*Rule evaluation* memetakan *fuzzy* input menjadi *fuzzy* output atau membuat aturan-aturan yang akan terjadi yang dialami oleh fuzzy input. Pemetaan ini didasarkan pada sejumlah *fuzzy If – Then rules*. *If –Then rules* terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

- *The antecedent part (premise*) yaitu kata di antara *if* dan *then* yang merupakan *input fuzzy*.
- *The consequent part (conclusion)* yaitu kata setelah *then* yang merupakan *output fuzzy*.

Dengan demikian *fuzzy if then rules* merupakan penghubung antara *antecedent* (input *fuzzy*) dengan *consequent* (output *fuzzy*) yang bersesuaian. Sehingga *If then rules* dapat dituliskan dengan :

IF.. (antecedent)
THEN.. (consequent)




Gambar 2.16: Blok Diagram Proses *Evaluasi Rule*

Pada sistem kendali yang dirancang, sistem *fuzzy* memiliki lebih dari satu input yang dihasilkan dari sistem kendali. Maka dalam membuat *fuzzy if – then rules*, pada bagian *antecedent* dapat digunakan operator *And* atau *Or*.

### *2.6.3 Defuzzifikasi*

Suatu sistem *fuzzy* akan mengeluarkan *output* berupa himpunan fuzzy (*fuzzy output*). Untuk dapat berinteraksi dengan sistem di luar, maka perlu mengubahnya menjadi suatu data *crisp* (tegas). Dengan proses *defuzzifikasi*, himpunan *fuzzy* hasil inferensi akan diubah menjadi suatu data *crisp* tunggal. Data *crisp* tunggal inilah yang merupakan sinyal kontrol. Ada beberapa metode *defuzzifikasi*, antara lain :

- **Metode *max***

  Metode yang digunakan untuk mencari nilai puncak untuk output yang dibatasi oleh fungsi :

  $$\mu c(z)^* > \mu c\ 1\ (z) \quad \text{.....} \quad (12)$$

- **Metode titik tengah (*centre of area*)**

  Metode Defuzzifikasi yang paling umum digunakan adalah metode pusat area. Metode ini dideskripsikan dengan fungsi:

  $$Z^* = \frac{\int \mu c(z) z dz}{\int \mu c(z) z dz} \quad \text{.....} \quad (13)$$

- **Metode rata-rata (*average*)**

  Metode yang digunakan jika fuzzy dalam bentuk simetris.

  $$Z^* = \frac{\sum(z).Z}{\mu c(z)} \quad \text{.....} \quad (14)$$

- **Metode penjumlah titik tengah (*summing of centre area*)**

  Metode ini dinyatakan dalam fungsi sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\int \sum=1 \mu ck(z)dz}{\int \sum=1 \mu cm(z)dz} \quad \text{..... (15)}$$

- **Metode titik tengah area terbesar**

  Pada metode ini output yang dipilih berdasarkan titik pusat area terbesar yang terdapat pada fungsi keanggotaan. Metode ini dinyatakan dalam fungsi

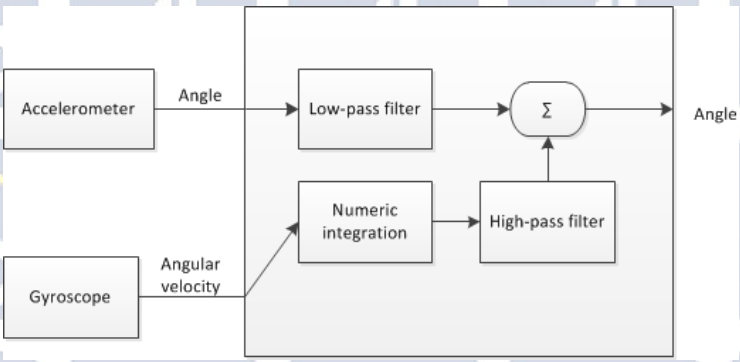
$$Z^* = \frac{\int \mu c(z) z dz}{\int \mu c(z) dz} \quad \text{..... (16)}$$

## 2.7 *Complementary Filter*

Pada pemrosesan sinyal, filter merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan sinyal yang diinginkan dari sinyal yang tidak diinginkan seperti derau. Prinsip kerja filter adalah melewatkan sinyal yang dikehendaki dan menahan sinyal lainnya yang tidak dikehendaki berdasarkan frekuensinya. Dengan menggunakan 3 sumbu sensor *accelerometer* untuk mendapatkan nilai kemiringan sudut (θ), yaitu sumbu X, Y dan Z. Kemudian sudut kemiringan dari *accelerometer* ini akan diproses ke *low-pass filter* untuk menghilangkan *noise*. Sedangkan keluaran sensor *Gyroscope* yang berupa kecepatan sudut (ω) harus diintegralkan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai perpindahan sudut atau sudut kemiringan. Kemudian diumpankan ke *high-pass filter* untuk menghilansgkan efek bias pada gyroscope.(Rama aldi 2014).

Oleh karena itu penelitian ini menggunakan *Complementary filter* sebagai filter untuk memproses nilai keluaran dari sensor MPU 6050. Penanganan noise dengan menggunakan low pass filter memiliki kelebihan komputasi yang ringan

juga mudah diterpakan dalam algoritma programnya , selain memiliki komputasi yang ringan, filter ini memiliki kemampuan yang bagus dalam menangani noise. (Pieter-jan.2013)




Gambar 2.17 : Blok Diagram *Complementary Filter*

(Sumber: Pieter-jan2013)

$$\text{sudut} = (a) * (\text{sudut}_{\text{gyro}} * dt) + (1 - a) * (\text{sudut}_{\text{acc}}); \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

Dimana:

a = *koefisien filter*

dt = waktu *sampling*, disesuaikan dengan waktu *sampling* nilai sensor

Sudut = sudut keluaran *complementary filter*

out_gyro = keluaran sensor *gyroscope* berupa kecepatan sudut

sudut_acc = keluaran sensor *accelerometer* yang sudah berupa sudut

jika di buat dalam *coding* sebagai berikut :

Angle = (0.98)*(Angle+Gyroscope's value* dt) + (0.02)*(Calculation Angle of Accelerometer's Value)

Nilai 0.98 pada pada persamaan diatas adalah nilai konstanta untuk High-Pass Filter yang terdapat dalam sensor *Gyroscope*, sedangkan nilai 0.02 adalah

nilai konstanta dari *Low-Pass Filter* yang terdapat dalam sensor *Accelerometer*. Dan jika nilai 0.98 dan nilai 0.02 ditambahkan, maka akan berjumlah nilai 1, penjumlahan nilai ini merupakan ilustrasi dari algoritma *Complementary Filter*.