BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 STUDI LITERATUR

Berdasarkan dari kajian pustaka yang terdiri dari beberapa penelitian mengenai proses perkembangannya analisis *gait* berbagai macam analisa dan metode yang digunakan, maka referensi dari penelitian terdahulu sangat penting untuk di lakukan agar terhindar dari penjiplakan atau duplikasi. Hal ini bertujuan sebagai bahan untuk kontribusi pnelitian bagi penulis agar penelitian tentang tema ini terus berkembang. Berikut berapa ulasan tentang penelitian terdahulu yang pernah di lakukan.

Pengembangannya menggunakan *gait analysis* di bidang olahraga. Misalnya, Anda dapat melihat gerakan otot seorang atlet dan membuat setiap gerakan menjadi lebih efektif. Dalam bidang animasi, gait analysis digunakan untuk menunjukkan pergerakan karakter senatural mungkin, dan dalam bidang medis, kami mengidentifikasi kelainan motorik yang terjadi pada manusia untuk memberikan penanganan lebih lanjut kepada pasien. Khususnya di Indonesia, laboratorium untuk *gait analysis* saat ini belum dikembangkan, sehingga tenaga kesehatan hanya bisa mengandalkan pengamatan visual langsung untuk gait analysis [2]. Hal ini mempengaruhi hasil akhir analisis yang disebabkan oleh pengamatan subjektif pasien oleh staf medis. Oleh karena itu, diperlukan penelitian pengolahan citra untuk melakukan gait analysis yang difokuskan pada pendeteksian marker.

Dalam hubungannya dengan bidang kedokteran fisik dan rehabilitasi medik di Indonesia, analisis gerak manusia ini menjadi sangat penting untuk membangun basis pengetahuan tentang pola gerak normal orang Indonesia. Hal ini diperlukan karena banyak peralatan dirancang berdasarkan ukuran tubuh orang Eropa, Amerika, atau Jepang yang berbeda dengan ukuran tubuh rata-rata orang Indonesia. Pengetahuan itu kemudian dapat digunakan untuk membantu dokter dalam mengobati pasien yang mengalami cacat fisik. Data ini juga dapat digunakan untuk mendesain *prostetik* (kaki palsu) yang sesuai dengan *anthropometri* (ukuran tubuh) orang Indonesia [4].

Plettenburg melakukan penelitian tentang dampak negatif dari kelainan kebiasaan berjalan manusia pada usia 26-43 tahun dengan mengamati cara berjalan pada *treadmill.* Analisis kelainan cara berjalan dan pengaruhnya pada bentuk dan susunan tulang belakang yang khususnya pada susunan sistem saraf tulang belakang pada bagian *thoracic nerves, lumbar nerves*, dan *sacral nerves* pada urutan tulang T9, T10, T11, T12, L1, L2, L3, dan S2. Pada segmen *sacral nerves* terdapat pengendali kinerja motorik dan pengendali otot tungkai bawah. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah kelainan cara berjalan dapat menyebabkan kerusakan pada susunan tulang belakang dapat menyebabkan kelumpuhan apabila tidak diatasi dengan segera [5].

Pada tahun 2013 penelitian dilakukan oleh F. Dadashi, GP Millet dan K. Aminian "*Gaussian Process Framework for Estimating Generalized Swimming Speed with Body Wear IMUs*" mengusulkan sebuah sistem yang dapat mengimplementasikan metode estimasi kecepatan renang yang akurat menggunakan *Single Inertial measurement unit* (IMUs) menggunakan batasan gerak biomekanik sederhana yang digabungkan dengan *Gaussian regresi* proses untuk mengatasi kesalahan yang melekat pada sensor yang diterapkan pada perenang. Dalam penelitian ini, pengukuran kecepatan menggunakan IMU membutuhkan integrasi waktu dari sinyal percepatan dan kecepatan sudut, yang menyebabkan kesalahan pengukuran dan bias integrasi. Menggunakan kendala biomekanik merangkak dan pengetahuan sebelumnya tentang panjang kolam, perkiraan yang akurat dari kecepatan renang sesaat diusulkan. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *SpeedRT* dari APLab dan *Physilog* dari BioAGM. Hasil dari penelitian ini adalah perbandingan antara metode referensi dan metode yang diusulkan yang membagi kesalahan estimasi menjadi irisan selebar 10 cm/s berdasarkan nilai CMV referensi masing-masing. Rata-rata kesalahan selalu kurang dari 3,7 cm/s, dan standar deviasi kesalahan berkisar antara 3,3 hingga 7,8 cm/s, sedangkan perbedaan relatif keseluruhan mencapai -1,0 ±7,8 dengan nilai RMS 9,0 cm/s. Koefisien korelasi = 0,95 [6].

Pada penelitian dengan judul "*A Wireless Sensor Network for the Biomedhical Analysis of the Gait*" menjelaskan metode analisis pergerakan manusia menggunakan sensor MPU-6050 dan *microcontroller* ESP8266 untuk melakukan

pengukuran gaya berjalan. Data yang telah didapat, selanjutnya akan dikalibrasi dengan menggabungkan *accelerometer* dan *gyroscope* menggunakan *complementary filter*. Penelitian ini menggunakan sensor pada 3 penempatan kaki yang berbeda yaitu pergelangan kaki, lutut, dan pinggul. Penelitian ini mengembangkan suatu alternatif yang lebih mudah dan efisien untuk menganalisis pergerakan manusia berdasarkan 3 penempatan kaki dengan mengimplementasikan sensor *gyroscope*. Setelah data diterapkan dan dianalisa, terbukti bahwa sensor *gyroscope* dapat diandalkan dan cukup efisien [5].

Penelitian dengan judul "*A Wearable Inertial Measurement System With Complementary Filter for Gait Analysis of Patients With Stroke or Parkinson's Disease"* menjelaskan metode analisis pola berjalan pada pasien penderita Stroke dan Parkinson. Sistem yang dibangun pada penelitian ini menggunakan pengukuran inersia yang diletakkan pada kaki pasien. Sistem ini terdiri dari mikrokontroler, sensor *accelerometer*, sensor *gyroscope*, dan modul transmisi nirkabel RF. Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah estimasi langkah dari pergelangan kaki pasien untuk mendapatkan percepatan dan kecepatan sudut. Sinyal yang ditangkap dari pengukuran akan difilter untuk mengurangi kesalahan berupa *noise*. Sistem yang dibuat terbukti secara efektif dapat menganalisis gaya berjalan untuk terapi pasien dengan penyakit Stroke dan Parkinson [2].

Penelitian yang dilakukan Angga Restu Reffanda pada tahun 2018 dengan judul Pengembangan *Autonomous Mobile* Robot sebagai Media Pembelajaran Sensor Gas dan Logam untuk Mata Kuliah Praktik Sensor dan Tranduser. Penelitian tersebut menggunakan metode R&D dengan model ADDIE oleh Robert Maribe Branch. Menggunakan intrumen dengan skala *Linkert* 4 pilihan dan dianalisis menggunakan Teknik analisis deskriptif. Hasil dari penelitian ini yaitu pada unjuk kerja alat menghasilkan nilai data sensor gas dengan kondisi udara normal < 25 rpm, sedangkan jika terdapat campuran gas akan bernilai lebih dari 25 rpm. Jarak deteksi sensor logam yaitu besi maksimal 13 mm, stainless maksimal 20 mm, alumunium maksimal 10mm, tembaga maksimal 5 mm, dan kuningan maksimal 7 mm. jarak komunikasi antara GUI 28 dan robot maksimal 145 m. Hasil uji kelayakan menunjukan bahwa alat yang dikembangkan sangat layak digunakan dengan skor rerata adalah 81 dari maksimal 88 dan minimal 22 dengan persentase

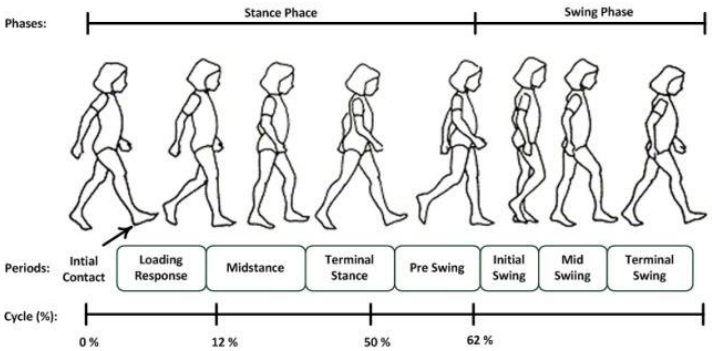
92%, sedangkan dari segi materi masuk kedalam kategori sangat layak dengan skor rerata 65,5 dari rentang nilai 20 sampai 80 dengan persentase 82%. Dari pengguna dapat diperoleh skor rerata hasil uji pengguna 59.6 dari rentang nilai 72 sampai dengan 18 dengan kategori sangat layak dan persentase 83%. Peneliti menemukan terdapat persamaan yakni pengembangan media pembelajaran menggunakan GUI, persamaan instrument yang akan digunakan, dan rumusan masalah untuk mengetahui kelayakan dari media pembelajaran yang telah dikembangkan [8].

Sebuah studi 2018 oleh Minh-Duc Hua dan Guillaume Allibert, "Desain Pengamat Riccati untuk Pose, Kecepatan Linier, dan Perkiraan Arah Gravitasi Menggunakan Posisi Landmark dan Pengukuran IMU," meneliti interpretasi pose dan arah untuk navigasi *otonom* kendaraan robot [6]. Kajian ini biasanya menggunakan pendekatan klasik untuk estimasi keadaan, berdasarkan teknik filter seperti *Extended Kalman Filter* (EKF). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor kecepatan *Doppler* berupa *Doppler Velocity Log* (DVL). Hal ini biasanya digunakan untuk navigasi kendaraan bawah air otonom dan sangat mahal dan sulit untuk diterapkan karena ukuran dan beratnya. Masalah estimasi pose dengan mengukur posisi karakter yang dikombinasikan dengan pengukuran IMU telah diatasi oleh pengamat *recatch nonlinier*. Sifat-sifat yang baik Bekerja pada topik ini mengandaikan beberapa pengetahuan sebelumnya tentang kecepatan nonlinier dan arah gravitasi dalam kerangka inersia. Pengamat yang diusulkan didukung oleh pengamatan yang ketat dan analisis stabilitas, bersama dengan hasil simulasi yang menarik. Sedangkan untuk sensornya sederhana [9].

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Gaya berjalan

Salah satu gerak tubuh yang dilakukan manusia setiap harinya adalah berjalan. Berjalan merupakan gerak lokomosi yang melibatkan dua kaki, untuk mendukung propulsi dengan salah satu kaki kontak atau bersentuhan dengan tanah. Berjalan meskipun terlihat sederhana namun melibatkan berbagai mekanisme yang bisa menimbulan gerak kompleks. Gaya berjalan merupakan hasil integrasi antara tulang, sistem saraf (sistem saraf pusat dan perifer), otot, dan faktor lingkungan (sepatu, permukaan tempat pijakan) [10] .



Gambar 2. 1 Siklus Gaya Berjalan [10]

Secara mekanis, gaya berjalan atau gait membutuhkan kerjasama antara ekstremitas atas dan bawah pada kedua sisi. Ketika satu kaki menyentuh tanah sebagai penahan, pendukung gerak, dan pendorong, kaki lainnya mengayun untuk membuat satu langkah [2]. Hal tersebut menimbulkan gait / gaya berjalan sebagai gerakan bergantian yang ritmis antara kaki, lengan dan badan untuk membuat gerak maju. Syarat terbentuknya suatu *gait* adalah *balance* (keseimbangan), *weight bearing*, dan *forward propultion* (dorongan kedepan) [10].

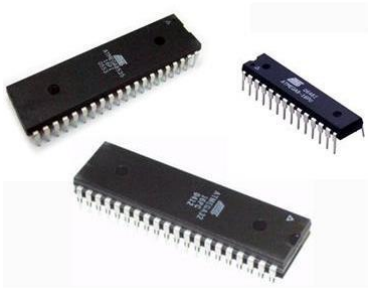
2.2.2 *Gait Cycle*

Gait atau gaya berjalan merupakan suatu fenomena siklik yang bisa dibagi dalam segmen atau fase. Berdasarkan terminologi tradisional, gait digambarkan sebagai proses *heelstrike*, *heel rise*, dan *toe off*. Sedangkan menurut terminologi *Rancho Los Amogis* (RLA) yang populer di awal 1990-an, lebih menekankan pada lamanya segmen atau proses, seperti *loading response*, *terminal stance*, dan *pre-swing* saat berjalan salah satu ekstremitas akan berperan memberikan support bagi ekstremitas lainnya yang berpindah maju atau berganti gerakan. Ekstremitas akan bergerak bergantian hingga seseorang mencapai tempat yang dituju. Urutan tunggal fungsi tersebut oleh satu ekstremitas disebut *gait cycle* yang diatur menjadi gerakan secara ritmik tejadi secara berurutan oleh sistem reticulospinal.

2.2.3 Mikrokontroller

Mikrokontroler adalah sebuah chip berupa IC (*integrated circuit*) yang dapat menerima sinyal *input*, memproses dan memberikan sinyal *output* sesuai dengan program yang dimuat di dalamnya [1]. Sinyal masukan mikrokontroler yang

berasal dari sensor merupakan informasi dari lingkungan sedangkan sinyal keluaran yang dikirimkan ke *aktuator* dapat berpengaruh terhadap lingkungan [15]. Sistem yang menggunakan mikrokontroler sering disebut sebagai sistem tertanam atau sistem khusus. *Embedded system* adalah sistem kontrol yang terintegrasi ke dalam suatu produk, sedangkan sistem khusus adalah sistem kontrol yang ditujukan untuk fungsi tertentu saja [16].



Gambar 2. 2 Tampilan Mikrokontroller

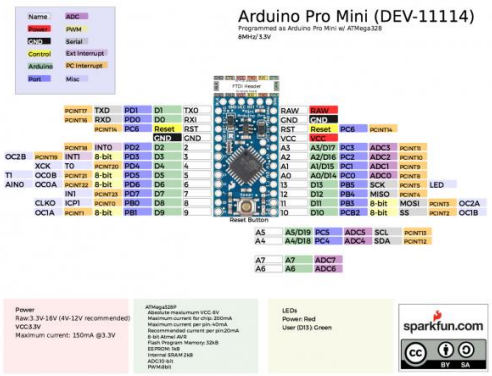
Mikrokontroller disusun dalam satu *chip* dimana prosesor, memori dan I/O terintegrasi ke dalam satu sistem kontrol sehingga mikrokontroler dapat dianggap sebagai komputer mini dengan dapat bekerja secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem. Sistem dijalankan secara mandiri tanpa bergantung pada komputer, sedangkan parameter komputer hanya digunakan untuk mendownload instruksi atau program [17].

Gambar 2.2 menggambarkan bentuk chip mikrokontroler. Mikrokontroler populer termasuk TinyAVR, AT90S, ATmega, Xmega, dan AVR32. Sedangkan kegunaan mikrokontroler antara lain AC, speedometer, odometer, navigasi, suspensi aktif, sistem keamanan alarm, *remote control*, dan robotika [10].

2.2.4 Arduino Pro Mini

Arduino Pro Mini merupakan sebuah board mikrokontroler berbasis IC ATmega328. Board ini memiliki 14 pin *input* atau output digital (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 *input* analog, *resonator on-board*, tombol *reset*, dan lubang untuk memasang *header pin*. *Header* enam pin dapat dihubungkan ke kabel FTDI atau papan *breakout sparkfun* untuk memberikan daya USB dan komunikasi ke *board*. Arduino Pro Mini ditujukan untuk instalasi semi permanen di objek atau pameran [18].

Board awalnya tanpa *header* yang dipasang sebelumnya, memungkinkan penggunaan berbagai jenis konektor atau penyolderan langsung kabel. Tata letak pin kompatibel dengan Arduino Mini. Ada dua versi Pro Mini. Salah satunya memiliki tegangan kerja di 3.3V dan 8 MHz, yang lainnya di 5V dan 16 MHz . Pada Gambar 2.3 dibawah ini merupakan penjelasan melalui gambar mengenai konfigurasi pin-pin yang merupakan bagian dari mikrokontoller Arduino Pro Mini yang digunakan didalam modul board arduino, sebagai berikut ini.



Gambar 2. 3 Tampilan Arduino Pro Mini [18]

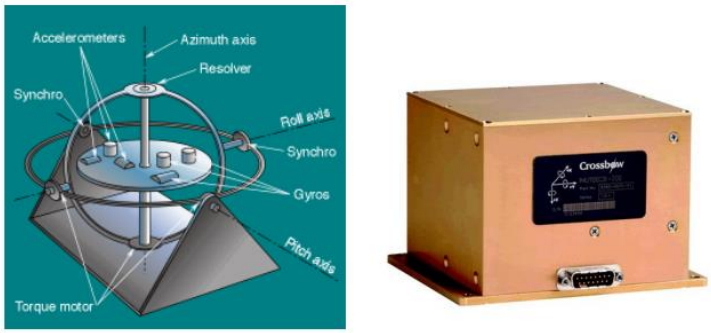
Arduino dilakukan dengan menggunakan *Arduino Software* (IDE), *Chip* ATmega328 yang terdapat pada Arduino Pro Mini telah diisi program awal yang sering disebut *bootloader*.

Bootloader tersebut yang bertugas untuk memudahkan dalam melakukan pemrograman dan lebih sederhana menggunakan Arduino *Software*, tanpa harus menggunakan tambahan hardware lain. Cukup menghubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC atau Mac/Linux untuk jalankan *Arduino Software* (IDE), dan sudah bisa mulai memprogram *chip* ATmega328 .

2.2.5 Inertial Measurement Unit (IMU)

Unit pengukuran inersia (IMU) adalah instrumen yang menggunakan sistem pengukuran seperti giroskop dan akselerometer untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan percepatan gerak mesin. IMU adalah bagian dari sistem navigasi yang dikenal sebagai Sistem Navigasi Inersia atau INS. Pertama kali ditunjukkan oleh C.S. Draper pada tahun 1999, IMU menjadi komponen navigasi umum di lapangan dan kapal [19].

Ada beberapa jenis IMU yang biasa digunakan, yaitu IMU gimbal (Gambar 2.4 (a)) dan *IMU wearable* (Gambar 2.4(b)). Saat ini, IMU yang diikat lebih umum digunakan. IMU mempertahankan 6 derajat kebebasan (DOF) memprediksi gerakan, yaitu posisi (X Y Z) dan orientasi *(roll, pitch, yaw).* Sebuah sistem seperti IMU yang mempertahankan hanya satu *kontinum* arah dikenal sebagai sistem Referensi Sikap dan Judul (AHRS) dan digunakan dengan cara yang mirip dengan IMU tetapi mempertahankan representasi yang tidak lengkap. Selain mempertahankan posisi mesin 6-DOF, komersial IMU juga secara khas mempertahankan perkiraan dari kecepatan dan akselerasi [20] .

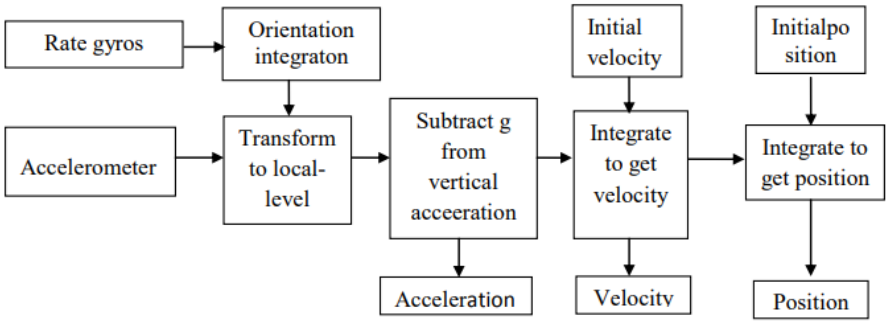


(a) (b)

Gambar 2. 4 (a) *Inertial Measurement Unit Gimbaled*; (b) *Inertial measurement unit strap-down* [21]

Perhitungan dasar dari IMU, ditunjukkan di gambar 2.4, yang menggunakan tiga akselerometer *orthogonal* dan tiga *gyroskop orthogonal*. Data *gyroskop* (ω) diintegrasikan untuk mempertahankan perkiraan orientasi motor (θ) secara terus menerus [21].

Di waktu yang sama, tiga akselerometer digunakan untuk memperhitungkan akselerasi motor (a) dengan segera. Data ini kemudian ditransformasikan melalui perhitungan dari orientasi motor relatif terhadap gravitasi, sehingga *vector gravity* dapat dihitung dan diekstrak dari pengukuran. Hasil akselerasi kemudian diintegrasi untuk mendapatkan kecepatan motor dan kemudian diintegrasi lagi untuk mendapatkan posisi (r) .



Gambar 2. 5 Diagram *Block Inertial Measurement Unit* [22]

IMU sangat sensitif untuk mengukur kesalahan di *gyroscope* dan akselerometer yang mendasar. Penyimpangan *gyroscope* mengerahkan pada kesalahan perhitungan dari orientasi motor, relatif terhadap gravitasi, menghasilkan penggagalan yang tidak tepat dari vektor gravitasi,seperti data akselerometer yang diintergasi dua kali, sisa vektor gravitasi akan menghasilkan kesalahan *quadratic* dalam posisi [22]. Hampir tidak mungkin untuk menghilangkan vektor gravitasi dan *error* yang lain diintegrasi dari waktu ke waktu sepenuhnya, karena penyimpangan merupakan isu pokok dari IMU.

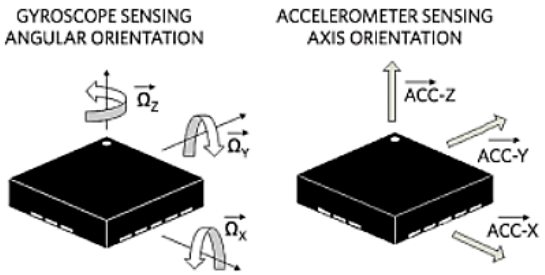
2.2.6 Sensor MPU6050

Berdasarkan datasheet sensor MPU6050 merupakan perangkat sensor yang terdapat *3-axis accelerometer* (sensor percepatan), *3-axis gyroscope* (sensor keseimbangan) atau yang dikenal dengan 6DOF (*Degrees of Freedom*), suhu, dan *magnetometer*. Sensor MPU6050 merupakan salah satu jenis alat elektronik yang digunakan sebagai pengukur *inersia* atau yang disebut dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang dapat mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi. Nilai yang dihasilkan sensor didapat dari gerakan tiga sumbu yaitu x, y, dan z. Sensor ini mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data sensor yang termuat pada modul MPU6050. Akses modul sensor ini menggunakan jalur data I2C [23].

Tabel 2. 1 Spesifikasi MPU6050

Part/Item	MPU6050	MPU6000
VDD	2.375V-3.46V	2.375V-3.46V

VLOIGIC	1.71V to VDD	n/a
Serial Interface Supported	12C	12C,SPI
Pin 8	VLOGIC	/CS
Pin 9	AD0	AD0/SD0
Pin 23	SCL	SCL/SCLK
Pin 24	SDA	SDA/SDI

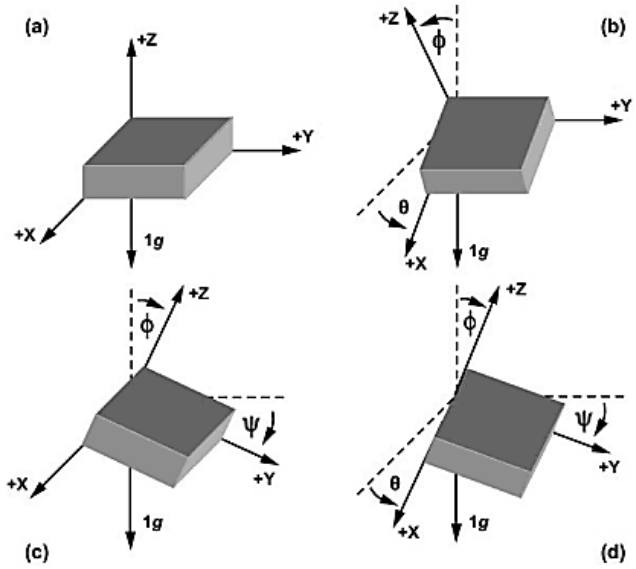


Gambar 2. 6 Perbedaan *Accelerometer* dan *Gyroscope* [23]

A. *Accelerometer*

Sensor Inertia akselerometer digunakan untuk mengukur akaselerasi pada benda. Faktor penting mengenai akselerometer adalah bahwa akselerometer sensitif pada semua aksi paksaan eksternal termasuk gaya berat. Dasar dari *accelerometer* yaitu Hukum Newton II yang berbunyi bahwa percepatan yang dialami suatu benda berbanding tebalik dengan massa benda yang bekerja. Ketika kecepatan suatu benda berubah maka benda tersebut mengalami akselerasi. Akselerasi atau yang disebut percepatan merupakan laju perubahan kecepatan terhadap waktu.

Seperti halnya kecepatan, percepatan juga terbagi menjadi dua yaitu percepatan rata-rata dan sesaat. Percepatan merupakan hasil dari turunan kecepatan terhadap waktu dan kecepatan didapatkan dari hasil turunan dari perpindahan terhadap waktu. MPU6050 terdiri dari *Accelerometer* 3-sumbu dengan teknologi *Micro Electro Mechanical* (MEMs) [24]. *Accelerometer* digunakan untuk mengukur sudut kemiringan atau kemiringan sepanjang sumbu X, Y dan Z dikarenakan adanya perubahan kecepatan yaitu percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut ini :



Gambar 2. 7 *Accelerometer* [25]

Beberapa fitur sensor *accelerometer* pada MPU6050 sebagai berikut :

1. Digital *output* dengan 3 axis terdapat jangkauan ±2g, ±4g, ±8g, dan ±16g.
2. Memiliki satuan berupa g (gaya gravitasi)
3. Terintegrasi ADC 16 bit yang digunakan untuk mendapatkan *output* digital
4. Ketika diletakkan pada permukaan datar maka nilai X, dan Y Axis yaitu 0g, sedangkan Z axis bernilai ±1g
5. Memerlukan arus 500 *microampere*
6. *Orientation detection* dan *signaling*
7. *Tap detection*
8. *User programmable interrupts*
9. *High-g interrupt*
10. *User selft-test*

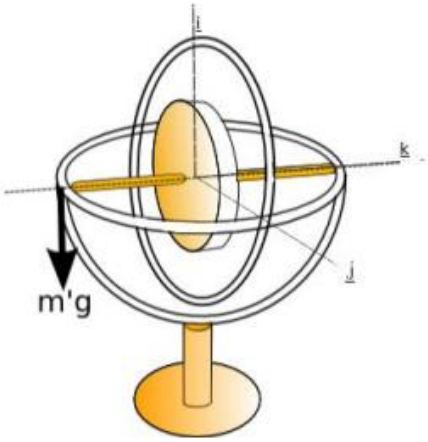
B. *Gyroscope*

Merupakan perubahan sudut seputar sumbu tetap terhadap ruang inersia. Berdasarkan pada kekekalan momentum sudut, efek *sagnac* dan efek *corolis*. Pada perkembangan terakhir *gyroscope* berfokus pada teknologi *micro-photonics* dan *micro-electro-mechanics*. Sebagian besar *gyroscope* (MEMS) didasarkan pada

elemen getar mesin untuk merasakan rotasi. Getaran *gyroscope* tergantung pada transfer energi antar cara geteran yang berdasar pada akselerasi *Coriolis*.

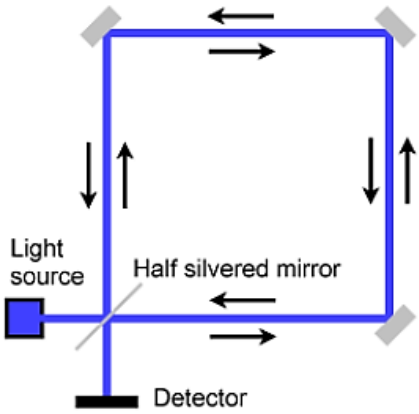
Percepatan *Coriolis* adalah percepatan semu yang terjadi pada bidang rotasi referensi. Dalam efek *Coriolis*, objek bergerak sepanjang garis lurus di bidang referensi rotasi. Bagi pengamat luar pada bidang inersia garis benda yang berupa kurva, beberapa tindakan harus dilakukan untuk memaksa benda mempertahankan gerak linier saat pengamat berputar [26].Terdapat tiga jenis *gyroscope* yang berbeda yaitu *gyroscope* dengan massa berputar, *gyroscope optic* dan *gyroscope* bergetar.

1. Pada *gyroscope* dengan massa berputar, pada gambar 2.8, alat memiliki massa berputar dengan tunak (*steady*) terhadap sumbu yang jatuh bebas-bergerak



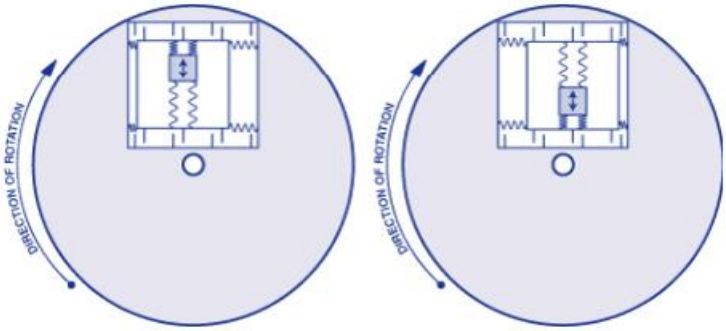
Gambar 2. 8 Tampilan *Spinning Mass gyroscope* [25]

2. *Gyroscope optic*, pada gambar 2.9 berdasarkan pada efek *sagnac* dengan keadaan yang fasenya bergerak diantara dua gelombang berlawanan arah (*counter-propagating*) dalam gelang *interferometer* yang berputar adalah proporsional untuk kecepatan sudut *loop*.



Gambar 2. 9 Tampilan *Optical Gyroscope* [27]

3. *Gyroscope* bergetar berdasarkan pada gambar 2.10 efek *Coriolis* yang mengakibatkan kopling pada dua mode resonansi dari resonator mekanik.



Gambar 2. 10 *Vibrating Gyroscope* [28]

C. *Noise* Pada *Gyroscope*

Noise utama yang berkontribusi pada gyroscope sebagai berikut :

1. *Quantization noise*

   Quantization noise utamaanya karena konversi *output* analog ke digital pada *gyroscope* dimana penyebab *noise* lainnya tergantung pada prinsip operasi *gyroscope*

2. Ketidakstabilan Bias (Bias *Drift*)

   Ketidakstabilan bias adalah nilai puncak ke puncak dari pergeseran bias pada jangka waktu yang lama. Diekspresikan dengan satuan waktu perwaktu (/s atau .h).

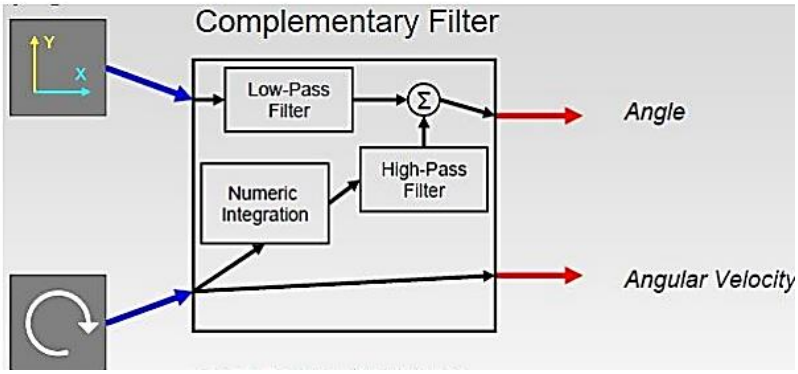
3. *Angle random walk*

Angle random walk (ARW) adalah *noise* akibat dari nilai sudut rotasi yang didapatkan dengan mengintegrasikan kecepatan sudut [29].

2.2.7 *Complementary Filter*

Preprocessing signal sangat penting untuk menghilangkan *noise* saat sistem melakukan pengukuran. *Complementary filter* merupakan solusi untuk menghilangkan *noise* yang ditimbulkan dari pengukuran sensor *accelerometer*, selain itu untuk menghilangkan *drift* yang dihasilkan saat pengukuran sensor *gyroscope*. Merupakan algoritma penyaring yang memanfaatkan 2 buah jenis penyaringan sinyal. Adapun jenis penyaringan tersebut antara lain *high pass filter* dari hasil keluaran *gyroscope* dan *low pass filter* dari keluaran *accelerometer* [3].

Filter ini bekerja dengan cara menggabungkan 2 sensor (*accelerometer* + *gyroscope*) menggunakan *low-pass filter* untuk keluaran accelerometer *dan high-pass filter* untuk keluaran *gyroscope* seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Metode *Complementary filter* [3]

Persamaan *Complementary Filter*:

Axis_Accelerometer_for_Tilt_Sensing

acc_pitch = atan ((GAcY - (float)MPU6050_AYOFFSET/4096.0) / sqrt(GAcX * GAcX + GAcZ * GAcZ)) * 57.29577951; // 180 / PI = 57.29577951…. (1)

acc_roll = - atan ((GAcX - (float)MPU6050_AXOFFSET/4096.0) / sqrt(GAcY * GAcY + GAcZ * GAcZ)) * 57.29577951; …(2)

//acc_yaw = atan ((GAcZ - (float)MPU6050_AZOFFSET/4096.0) / sqrt(GAcX * GAcX + GAcZ * GAcZ)) * 57.29577951;….(3)

```
acc_yaw = atan (sqrt(GAcX * GAcX + GAcZ * GAcZ) / (GAcZ -
                (float)MPU6050_AZOFFSET/4096.0)) * 57.29577951;….(4)
```