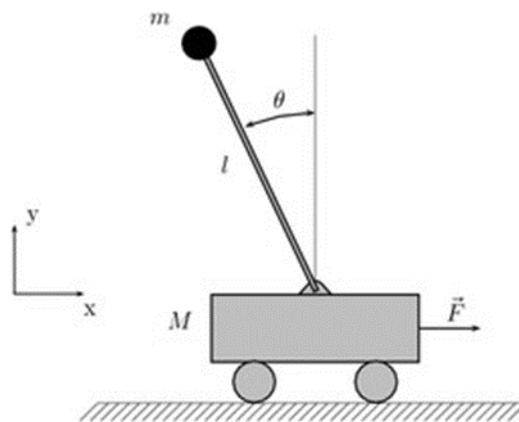


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Robot *Self Balancing*

Robot keseimbangan (*balancing robot*) beroda dua merupakan suatu robot mobile yang memiliki dua buah roda disisi kanan dan kirinya yang tidak akan seimbang apabila tanpa adanya kontroler. Robot keseimbangan (*balancing robot*) ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik (*Inverted Pendulum*). Pendulum terbalik adalah pendulum yang terengsel ke kereta beroda yang dapat bergerak maju dan mundur pada bidang horisontal di sepanjang lintasan. Penerapan konsep pendulum terbalik dalam dunia robotika bisa dilihat pada robot keseimbangan, yaitu robot dengan dua roda yang roda tersebut diasumsikan sebagai kereta beroda dan badan robot diasumsikan sebagai pendulum. Sistem ini tidak stabil karena ketika kereta beroda diberi gangguan dari luar maka pendulum akan jatuh. Ketika pendulum atau *balancing robot*, mempertahankan agar pendulum tidak terjatuh dibutuhkan sebuah kendali suatu kendali khusus.[6]



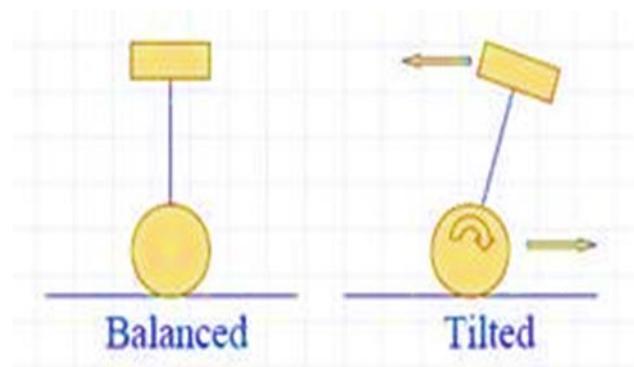
Gambar 2.1 Pandulum Terbalik

(Sumber: [http://www.oocities.org/husni\\_ums/dsk/bandulterbalik.html](http://www.oocities.org/husni_ums/dsk/bandulterbalik.html))

Dalam keadaan diam, pendulum terbalik yang diatur agar pada keadaan awal yang tegak, akan mulai membentuk sudut  $\theta$  dan lama kelamaan akan jatuh karena adanya gaya gravitasi. Untuk mempertahankan posisi pendulum pada suatu titik, dipertahankan diperlukan sebuah gaya yang dapat menahan pergerakan



pendulum. Cara menghasilkan gaya tersebut adalah dengan membuat kereta tersebut maju ke arah dengan arah kemana pendulum tersebut condong / akan jatuh. Kendali yang baik akan membuat pendulum tetap seimbang dengan cara mengendalikan pergerakan poros putar atau kereta beroda dimana pendulum tersebut terpasang. Dasar untuk membuat robot beroda dua dapat seimbang adalah dengan cara mengendalikan roda searah dengan arah jatuhnya bagian atas robot tersebut. Apabila proses tersebut dapat terlaksana maka robot tersebut dapat seimbang.[6]



Gambar 2.2 Balancing Robot Beroda Dua Menyeimbangkan Diri  
(Sumber: <http://www.instructables.com/id/Self-Balancing-Robot/step2/Physics>).

Saat balancing robot beroda dua condong kedepan atau miring ke kiri seperti gambar, maka tindakan yang perlu dilakukannya adalah motor bergerak searah dengan arah kemiringan yang terjadi, sehingga robot akan kembali tegak lurus dengan permukaan bidang datar.

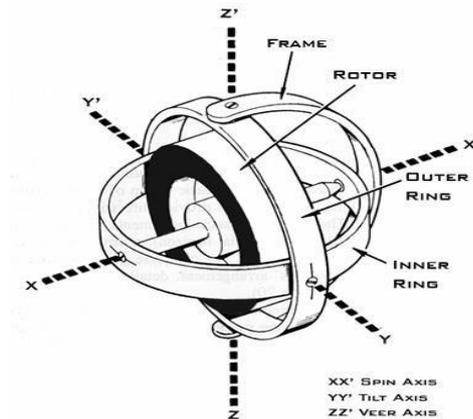
## 2.2 Sensor MPU6050 (GY-521)

Sensor MPU6050 adalah sensor mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data dari sensor accelerometer dan sensor gyroscope. Sensor ini juga dilengkapi oleh sensor suhu yang dapat digunakan untuk mengukur suhu dikeadaan sekitar. Jalur data yang digunakan pada sensor ini adalah jalur data I2C.

Gyroscope adalah suatu piranti elektronik yang berfungsi untuk mengukur kecepatan sudut dengan satuan ( $^{\circ}/s$ ) yang dialami oleh suatu benda pitch, roll dan



yaw. Sedangkan sensor accelerometer adalah piranti elektronik yang berguna untuk mengukur percepatan yang terjadi pada suatu objek. Cara menerapkan sensor accelerometer untuk mendapatkan posisi dari suatu benda dengan melakukan percepatan itu sendiri sebanyak dua kali terhadap waktu.[7]



Gambar 2.3 Gyroscope

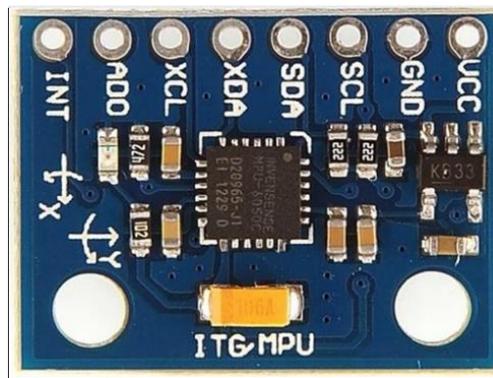
(Sumber:[http://www.dutchops.com/Portfolio\\_Marcel/Articles/Instruments/Gyroscopic\\_Instruments/Theory\\_Gyroscopes.htm](http://www.dutchops.com/Portfolio_Marcel/Articles/Instruments/Gyroscopic_Instruments/Theory_Gyroscopes.htm))

Gyro sensor bisa mendeteksi gerakan sesuai gravitasi, atau dengan kata lain mendeteksi gerakan pengguna. Sebelum digunakan, sensor gyroscope terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan bandul. Proses kalibrasi tersebut berfungsi untuk memperoleh nilai faktor kalibrasi. Gyroscope memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu yaitu: sumbu x yang nantinya akan menjadi sudut phi ( kanan dan kiri ), sumbu y nantinya menjadi sudut theta ( atas dan bawah ), dan sumbu z nantinya menjadi sudut psi ( depan dan belakang ). Sensor Accelerometer yaitu sebuah transduser yang bekerja untuk mengukur dan mendeteksi adanya percepatan dan getaran akibat gravitasi bumi. Alat sensor ini mampu bekerja untuk mengukur suatu getaran yang terjadi pada benda atau objek tertentu seperti mesin, kendaraan, bangunan, dan lebih hebatnya lagi bisa mengukur getaran di dalam bumi tanpa pengaruh gravitasi bumi.



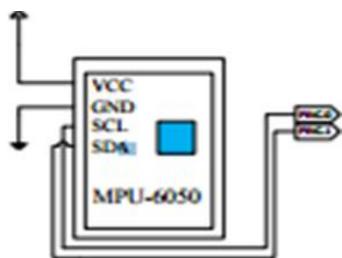
Tegangan yang dibutuhkan pada sensor MPU-6050 sebesar 3,3V. Modul sensor MPU-6050 ini mempunyai regulator tegangan sendiri sebesar 3.3 v sehingga dapat langsung dihubungkan tegangan maksimal 5V. Pada sensor MPU-6050 ini mempunyai dua buah keluaran yaitu SCL yang dihubungkan ke PC.0 dan SDA dihubungkan PC.[2]

GY-521 MPU-6050 Module adalah sebuah modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis Motion Processing Unit dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap dipakai dengan tegangan supply sebesar 3-5VDC. Modul ini memiliki interface I2C yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas I2C.

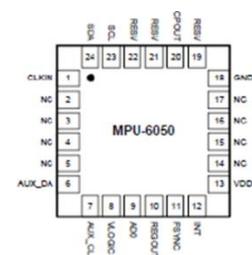


Gambar 2.4 Modul GY-521 MPU-6050

(<https://ardubotics.eu/en/sensors/123-gy-521-mpu-6050-3-axis-gyroscope-module-for-arduino.html>)



(a)

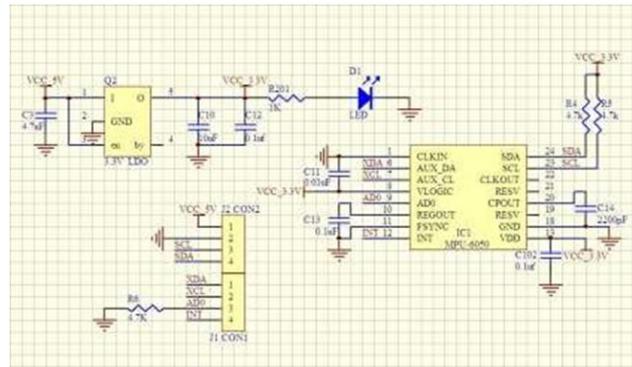


(b)

Gambar 2.5 (a) dan (b) Konfigurasi Sensor MPU 6050 (GY-521)



Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu.



Gambar 2.6 Skema rangkaian modul sensor MPU-6050

(<https://technicalustad.com/control-mpu-6050-gy-521-with-arduino-and-servo-motors/>)

### 2.2.1 Accelerometer



Gambar 2.7 Sensor Accelerometer

(Sumber: [http://www.techenstein.com/wp-content/uploads/2014/08/MEMS-1311953159\\_450\\_355.png](http://www.techenstein.com/wp-content/uploads/2014/08/MEMS-1311953159_450_355.png))

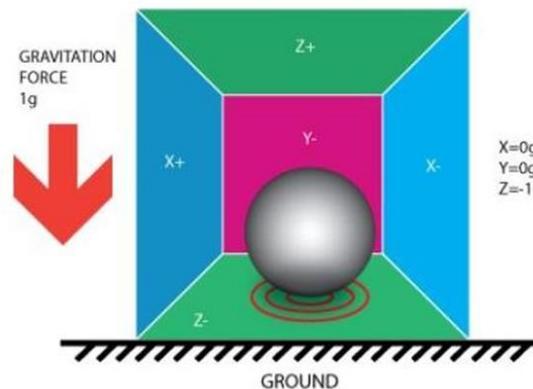
*Accelerometer* adalah sebuah *tranduser* yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Accelerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi. Accelerometer juga merupakan salah satu produk dari *Micro Electro Mechanical System (MEMS) Technology*



yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi. MEMS (*Micro-electro Mechanical System*) adalah sebuah sensor mekanik yang dikemas ke dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC). Karena merupakan sebuah microelectronic maka komponen utama penyusunnya adalah silicon dan dalam ukuran Micron.[8]

Prinsip dasar dari sensor MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) adalah capacitive sensor dimana dengan percepatan getaran tertentu akan mengakibatkan perubahan kapasitansi dan pada akhirnya akan mengakibatkan perubahan tegangan output dari sensor MEMS (*Micro Electro Mechanical System*).

Jika bergerak tiba-tiba kotak ke kiri (mempercepatnya dengan percepatan  $1G = 9.8m/s^2$ ), bola akan memukul dinding  $-X$ . Accelerometer akan mendeteksi kekuatan yang diarahkan ke arah yang berlawanan dari vektor percepatan sehingga kekuatan tekanan bola berlaku untuk dinding dan output nilai  $-1G$  pada sumbu X, seperti pada gambar dibawah.[8]



Gambar 2.8 *Accelerometer* dengan percepatan  $1g$  di bumi

Tekanan bahwa bola telah diterapakan di dinding disebabkan oleh kekuatan gravitasi. Secara teori bisa menjadi berbagai jenis kekuatan, misalnya, jika membayangkan bahwa bola adalah logam, menempatkan magnet di sebelah kotak bisa bergerak bola sehingga menyentuh dinding lain. Hal tersebut hanya untuk membuktikan bahwa dalam tindakan accelerometer esensi memaksa tidak ada percepatan. Hanya saja terjadi percepatan yang menyebabkan kekuatan inersia



yang ditangkap oleh mekanisme deteksi kekuatan accelerometer. Nilai sesungguhnya dari accelerometers triaksial berasal dari fakta bahwa dapat mendeteksi gaya inersia pada ketiga sumbu. Ketika memutar kotak  $45^\circ$  ke kanan dan  $-45^\circ$  ke arah kiri. Berikut ini adalah fitur yang disediakan oleh sensor MPU6050 untuk accelerometer:[7]

- a. Digital-output accelerometer 3 axis yang dapat diprogram penuh dengan rentang skala dari  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ , dan  $\pm 16g$ .
- b. Resolusi 16-bit ADC yang telah terintegrasi memungkinkan dalam pengambilan sampel secara simultan pada accelerometer, sedangkan tidak memerlukan multiplexer eksternal.
- c. Pengoprasian normal accelerometer pada arus:  $500\mu A$ .
- d. Mode daya rendah accelerometer pada arus:  $10\mu A$  pada  $1.25Hz$ ,  $20\mu A$  pada  $5Hz$ ,  $60\mu A$  pada  $20Hz$ ,  $110\mu A$  pada  $40Hz$ .
- e. Mendeteksi orientasi dan sinyal.
- f. Mendeteksi ketukan.
- g. Interupsi user-programmable.
- h. Interupsi High-G.
- i. Pengguna self-test.

### **2.2.2 Gyroscope**

*Gyroscope* adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau mempertahankan orientasi berdasarkan prinsip momentum angular. Pada prinsipnya mechanical gyroscope adalah sebuah piringan (rotor) yang berputar pada sumbu (axis) yang mampu bergerak ke beberapa arah. Bagian dari gyroscope terdiri dari sebuah piringan (rotor) yang berputar pada sumbu putar (spin axis). Sumbu putar ini terpasang pada suatu kerangka yang disebut gimbal (inner-most gimbal). Inner-most gimbal terpasang pada inner gimbal. Dan inner gimbal terpasang pada outer gimbal yang merupakan kerangka terluar.[7]



Dengan memiliki tiga gimbal maka gyroscope mempunyai kemampuan untuk berputar pada tiga sumbu putar (*3 degree of rotational freedom*). Walaupun *gyroscope* mempunyai *3 degree of rotational freedom*, namun rotor akan selalu tetap berada pada posisinya, selama gimbal berputar. Saat ketiga kerangka gimbal berputar, rotor tidak mengikuti putarannya. Perputaran gimbal (kerangka luar) tidak merubah posisi dari rotor. Prinsip inilah yang kemudian dimanfaatkan dalam instrumen pesawat terbang untuk mendeteksi gerak *yaw*, *roll* dan *pitch* pesawat.

- a. Digital-output X-, Y-, dan Z-Axis nilai sudut sensor (gyroscope) dengan suatu user-programmable full-rentang skala dari  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$ , dan  $\pm 2000^\circ$ /detik.
- b. Sinyal sync eksternal yang terhubung dengan pin FSYNC mendukung gambar, video dan sinkronisasi GPS.
- c. Resolusi 16-bit ADC yang telah terintegrasi memungkinkan untuk pengambilan sampel secara simultan dari gyros.
- d. Peningkatan stabilitas bias dan sensitivitas suhu yang dapat mengurangi kebutuhan bagi pengguna kalibrasi.
- e. Peningkatan kinerja noise frekuensi rendah.
- f. Digital-programmable low-pass filter.
- g. Gyroscope beroperasi pada arus: 3.6mA.
- h. Standby pada arus: 5 $\mu$ A.
- i. Pabrik yang mengkalibrasi dengan tingkat sensitivitas faktor berskala.
- j. Pengguna self-test.

Sensor MPU6050 akan mendeteksi perubahan percepatan linear dan sudut. Apabila yang digunakan dari sensor MPU6050 bagian accelerometer-nya dengan skala maksimal, percepatan linearnya sebesar + 2g. Nilai raw data ini belum diubah dalam bentuk g untuk accelerometer. Untuk mengubah nilai raw data tersebut, digunakan langkah konversi, langkah ini mengubah nilai raw data sensor MPU6050 menjadi maksimal, pembacaan sensor sebesar 2g.[9] Selain itu langkah



ini juga mendapatkan nilai resultan dari MPU6050. Nilai resultan ini berfungsi untuk mendefinisikan pergerakan tanah. Persamaan yang digunakan untuk menentukan resultan accelerometer dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$Acc = \sqrt{AccX^2 + AccY^2 + AccZ^2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.1)}$$

Penjelasan :

Acc = Resultan data dari 3 axis Accelerometer

AccX = Nilai axis X Accelerometer

AccY = Nilai axis Y Accelerometer

AccZ = Nilai axis Z Accelerometer

### **2.3 Motor Stepper**

Sebenarnya yang membedakan motor stepper dengan jenis motor lainnya misalnya pada motor AC dan motor DC salah satunya adalah dari segi putarannya. Motor stepper merupakan motor DC yang tidak mempunyai komutator. Umumnya motor stepper hanya mempunyai kumparan pada bagian stator sedangkan pada bagian rotor merupakan magnet permanen (bahan *ferromagnetic*). Karena konstruksi inilah maka motor stepper dapat diatur posisinya pada posisi tertentu dan atau berputar ke arah yang diinginkan, apakah searah jarum jam atau sebaliknya. Ada tiga jenis motor stepper yaitu *motor stepper Magnet Permanen*, *Variable Reluctance* dan *Hybrid*. Semua jenis tersebut melakukan fungsi dasar yang sama, tetapi mempunyai perbedaan penting pada beberapa aplikasi.[10]

Motor *stepper* dapat berputar atau berotasi dengan sudut step yang bisa bervariasi tergantung motor yang digunakan. Ukuran step (*step size*) dapat berada pada range 0,90 sampai 900. Misalnya sudut step 7,50; 150; 300 dan seterusnya tergantung aplikasi atau kebutuhan yang diinginkan. Posisi putarannya pun relatif eksak dan stabil. Dengan adanya variasi sudut step tersebut akan lebih memudahkan untuk melakukan pengontrolan serta pengontrolannya dapat langsung menggunakan sinyal digital tanpa perlu menggunakan rangkaian *closed-loop feed-back* untuk memonitor posisinya. Dengan alasan inilah maka motor



stepper banyak digunakan sebagai aktuator yang menerapkan rangkaian digital sebagai pengontrol (*driver*), ataupun untuk interfacing ke piranti yang berbasis *mikrokontroler*. (Syahrul, 2005).

### **2.3.1 Kelebihan Motor Stepper**

Kelebihan motor stepper dibandingkan dengan motor DC biasa adalah :

- 1 Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
3. Posis dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
4. Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop dan berbalik (perputaran).
5. Sangat realibel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC.
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas.

### **2.3.2 Prinsip Kerja Motor Stepper**

Pada dasarnya, prinsip kerja stepper motor ini sama dengan DC Motor, yaitu pembangkitan medan magnet untuk memperoleh gaya tarik ataupun gaya lawan dengan menggunakan catu tegangan DC pada lilitan/kumparannya. Perbedaanya terletak pada gaya yang digunakan. Bila Motor DC menggunakan gaya lawan untuk melawan atau mendorong fisik kutub magnet yang dihasilkan maka stepper motor menggunakan gaya tarik untuk menarik fisik kutub magnet yang berlawanan sedekat mungkin ke posisi kutub magnet dihasilkan oleh kumparan. Oleh karena itu, pada Motor DC, putaranya relatif tidak terkendali, jarak tolakannya sangat relatif, tergantung pada besar medan magnet yang dihasilkan. Sebaliknya pada stepper motor, gerakan motor terkendali karena begitu kutub



yang berlawanan tadi sudah tarik-menarik dalam posisi yang paling dekat, gerakan akan berhenti dan direm.[11]

Bila kumparan mendapat tegangan dengan analogi mendapat logika 1, maka akan dibangkitkan kutub magnet yang berlawanan dengan kutub magnet tetap pada rotor. Dengan demikian, posisi kutub magnet rotor akan ditarik mendekati lilitan yang menghasilkan kutub magnet tetap pada rotor itu akan berpindah posisi menuju kutub magnet lilitan yang dihasilkan sekarang. Berarti, telah terjadi gerakan 1 step. Bila langkah ini diulang terus-menerus, dengan memberikan tegangan secara bergantian ke lilitan-lilitan yang bersebelahan, rotor akan berputar.

Logika perputaran rotor tersebut dapat dianalogikan secara langsung dengan data 0 atau 1 yang diberikan secara serentak terhadap semua lilitan stator motor. Hal ini sangat memudahkan bagi sistem designer dalam menciptakan putaran-putaran stepper motor secara bebas dengan hanya mempermainkan bit-bit pada data yang dikirimkan ke rangkaian interface stepper motor tersebut.

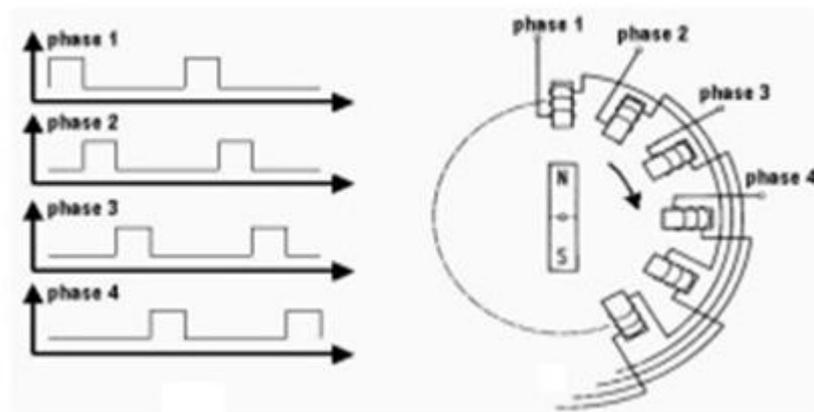
Untuk stepper motor 4 fase, pada prinsipnya ada dua macam cara kerja, yaitu *full step* dan *half step*. Penjabatan formasi logika dalam tabel ini adalah untuk mewakili putaran  $360^\circ$  relatif terhadap fase dari motor.

Motor Stepper yang dijumpai di pasaran sebagian besar melipat gandakan jumlah kutub magnet kumparannya dengan memperbanyak kumparan stator sejenis melingkar berurutan dalam konfigurasi penuh  $360^\circ$  rill terhadap poros rotor (dengan jumlah fase tetap). Hal ini dilakukan untuk memperoleh efek rill putaran 1 step yang lebih presisi, misalnya  $3,6^\circ/\text{step}$  atau  $1,8^\circ/\text{step}$ . [12]

Untuk memperoleh efek cekraman yang lebih kuat, modus data yang diberikan pada mode *full wave* dapat dimanipulasi dengan memberikan double aktif bits pada setiap formasi. Dengan cara ini, torsi yang dihasilkan akan lebih besar. Namun demikian, penggunaan arus akan berlipat dua karena pada saat yang bersamaan dua lilitan mendapatkan arus kemudi. Prinsip kerja motor stepper



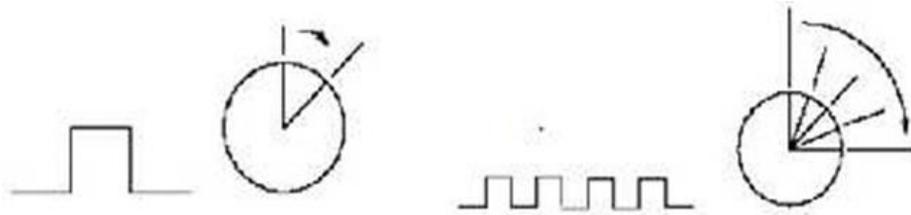
adalah mengubah pulsa-pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik.[10] Berikut ini adalah ilustrasi struktur motor stepper sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkannya yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Motor Stepper  
(<http://zoniaelektro.net/motor-stepper/>)

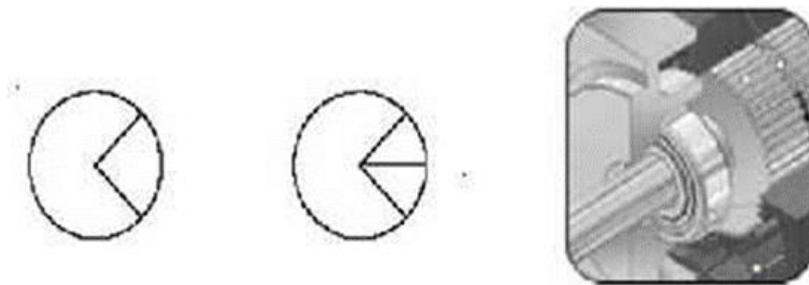
### 2.3.3 Konstruksi Motor Stepper

Motor stepper adalah motor listrik yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital, bukan dengan memberikan tegangan yang terus-menerus. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran shaft, dimana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau step, yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu, perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran yang diinginkan. Perhitungan pulsa secara otomatis menunjukkan besarnya putaran yang telah dilakukan, tanpa memerlukan informasi balik (*feedback*). [12]



Gambar 2.10 Pulsa Keluaran Motor Stepper  
(Sumber : Repository.usu, 2017)

Ketepatan kontrol gerak motor stepper terutama dipengaruhi oleh jumlah step tiap putaran, semakin banyak jumlah step, semakin tepat gerak yang dihasilkan. Untuk ketepatan yang lebih tinggi, beberapa driver motor stepper membagi step normal menjadi setengah step (*half step*) atau *mikro step*. [9]



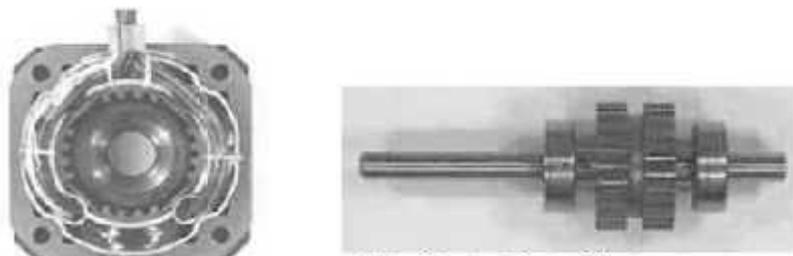
Gambar 2.11 Mikro Step dan Bagian dari Motor Stepper  
(Sumber : Repository.usu, 2017)

Bagian-bagian dari motor stepper yaitu tersusun atas rotor, stator, bearing, casing dan sumbu.

1. Rotor pada motor stepper terdiri dari poros, roda dan sudu gerak.
2. Stator terdiri dari beberapa kutub. Setiap kutub memiliki lilitan yang menghasilkan medan magnet yang akan menggerakkan rotor. Pemberian arus yang berurutan pada kutub – kutubnya menyebabkan medan magnet berputar yang akan menarik rotor ikut berputar. Stator juga memiliki dua bagian plat yaitu plat inti dan plat lilitan. Plat inti dari motor stepper ini biasanya menyatu dengan casing.



3. Casing motor stepper terbuat dari aluminium dan ini berfungsi sebagaiudukan bearing dan stator pemegangnya adalah boud sebanyak empat buah. Di dalam motor stapper memiliki dua buah bearing yaitu bearing bagian atas dan bearing bagian bawah.
4. Sumbu merupakan pegangan dari rotor dimana sumbu merupakan bagian tengah dari rotor, sehingga ketika rotor berputar sumbu ikut berputar.



Gambar 2.12 Bagian Stator Motor dan Rotor Motor Stepper  
(Sumber : Repository.usu, 2017)

### 2.3.4 Spesifikasi Motor Stepper NEMA-17

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor Stepper Nema 17

Model	17HS4401
Phase	2 hybrid
Pulse Per Rotasi	200 P/R atau 1.8 deg/pulse
Wire	Bipolar 4 Wire
Holding torque	103 (oz-in) atau 7,4 kg.cm
Dimensi	6,8 cm x 4,2 cm x 4,2 cm
Diameter shaft	5 mm
Timing pulley	GT2-20 teeth, bore diameter 5 mm, pitch 2 mm
Berat	550 gr
Suplai	12 VDC

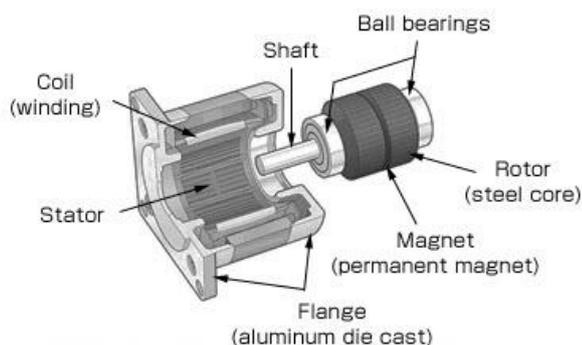


### 2.3.5 Motor Stepper NEMA-17

Motor stepper adalah salah satu jenis motor DC yang dikendalikan dengan pulsa- pulsa digital. Prinsip kerja motor stepper adalah mengubah pulsa-pulsa masukan menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-*pulsa periodic*.

Pengaplikasian motor stepper pada slider timelapse ini adalah sebagai penggerak dudukan kamera (mounting) untuk dapat bergerak secara translasi dan juga rotasi. Pada pembuatan slider timelapse ini penulis mengkhususkan action kamera sebagai kamera yang akan dipakai, karena selain harganya yg relatif lebih murah dari kamera DSLR bobotnya pun jauh lebih ringan, sehingga motor stepper jenis NEMA-17 ini sudah cukup melengkapi kebutuhan torsi untuk menggerakkan kamera dan dudukan kamera. Selain itu motor stepper NEMA-17 juga memiliki resolusi step sebesar  $1,8^\circ$  yang dapat diperkecil lagi hingga  $0,1125^\circ$  menggunakan driver A4988, sehingga pergerakan dari slider dapat lebih halus.[11]

Berikut ini adalah ilustrasi struktur motor stepper sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakannya:



Gambar 2.13 Struktur Motor Stepper NEMA-17



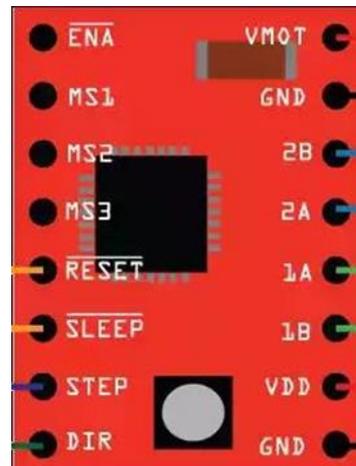
Gambar 2.14 Motor Stepper NEMA-17  
(<https://tinkersphere.com/3378/1885.jpg>)

### 2.3.1 Driver Motor A4988

A4988 adalah driver microstepping untuk mengendalikan motor stepper bipolar yang mempunyai translator bawaan untuk pengoperasian yang lebih mudah. Driver motor ini dapat mengontrol kerja motor stepper hanya dengan 2 pin dari kontroler, pin pertama untuk mengontrol arah putaran, pin kedua untuk mengontrol step motor.[6] Driver ini menyediakan lima step resolutions yang berbeda: *Full-Step*, *Half-Step*, *Quarter-Step*, *Eighth-Step* dan *Sixteenth-Step* dengan konfigurasi Pin sebagai berikut :

MS1	MS2	MS3	Resolution
LOW	LOW	LOW	Full Step
HIGH	LOW	LOW	Half Step
LOW	HIGH	LOW	Quarter Step
HIGH	HIGH	LOW	Eighth step
HIGH	HIGH	HIGH	Sixteenth Step

Gambar 2.15 Konfigurasi Pin Step Resolution Motor Stepper



Gambar 2.16 Pin-Out Driver Motor A4988

(<https://lastminuteengineers.com/wp-content/uploads/2018/12/A4988-Stepper-Motor-Driver-Output-Pins.png>)

#### 2.4 Module Bluetooth HC-05

Bluetooth merupakan sarana komunikasi yang bisa dipergunakan sebagai perantara (mediator) penghubungan satu alat elektronik semisal smartphone dengan alat elektronik lainnya semisal laptop atau komputer. Fungsi mendasar bluetooth yaitu memudahkan proses berbagi data baik video, audio ataupun berkas, sehingga menggantikan sarana perantara kabel dalam proses berbagi data. [13]

Secara lebih terperinci, bluetooth merupakan nama yang diberikan kepada untuk teknologi baru dengan menggunakan short-range radio links untuk menggantikan koneksi kabel portable atau alat elektronik yang sudah pasti. Tujuannya adalah mengurangi kompleksitas, power serta biaya. Bluetooth diimplementasikan pada tempat-tempat yang tidak mendukung sistem wireless seperti di rumah atau di jalan untuk membentuk Personal Area Networking (PAN), yaitu peralatan yang digunakan secara bersama-sama. (Yulia, 2004 :107)

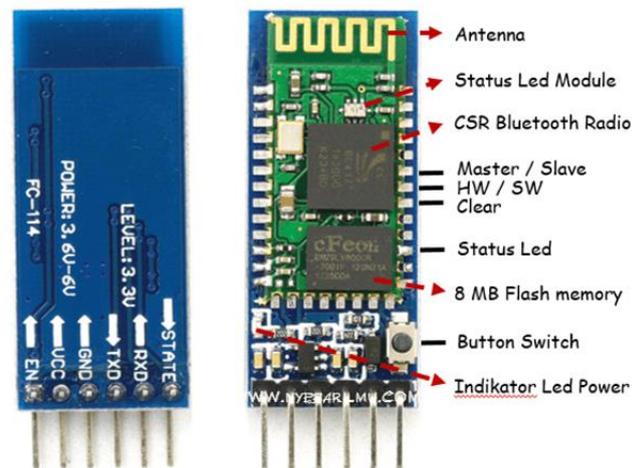
Dalam jurnal Yulia (2004 :107), Andrew S. Tanenbaum mengemukakan bahwa ada tiga belas aplikasi spesifik dari bluetooth, yaitu :



- a. *Generic Access* : prosedur untuk link management yang menyediakan jalan untuk membangun dan memelihara secure link antara master dan slave.
- b. *Service Discovery* : protocol untuk mengetahui servis yang disediakan.
- c. *Serial Port* : penggantian untuk kabel serial port.
- d. *Generic Object Exchange* : menetapkan hubungan *client-server* untuk *object movement*.
- e. *LAN Access* : protokol antara mobile komputer dengan *fixed* LAN.
- f. *Dial-up Networking* : mengizinkan komputer atau notebook untuk dial/call via mobile phone.
- g. *Fax* : mengizinkan mobile fax untuk berbicara lewat mobile phone.
- h. *Cordless telephony* : menghubungkan headset dengan local base station.
- i. *Intercom* : *digital walkie-talkie*
- j. *Headset* : mengizinkan hands-free voice communication.
- k. *Object Push* : menyediakan jalan untuk pertukaran simple objects.
- l. *File Transfer* : menyediakan fasilitas transfer file secara lebih general.
- m. *Synchronization* : mengizinkan PDA untuk sinkronisasi dengan komputer lain.

Module bluetooth HC-05 adalah modul komunikasi nirkabel via bluetooth yang beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz dengan pilihan dua mode konektivitas. Mode 1 berperan sebagai slave atau receiver data saja. Mode 2 berperan sebagai master atau dapat bertindak sebagai transceiver. pengaplikasian komponen ini sangat cocok pada project elektronika dengan komunikasi nirkabel atau wireless. Aplikasi yang dimaksud antara lain aplikasi sistem kendali, monitoring, maupun gabungan keduanya.[13]

Antarmuka yang dipergunakan untuk mengakses module ini yaitu serial TXD, RXD, VCC, GND. serta terdapat LED (built in) sebagai indikator koneksi bluetooth terhadap perangkat lainnya seperti sesame module, dengan smartphone android dan sebagainya.[14]



Gambar 2.16 Module Bluetooth HC-05

(<https://i0.wp.com/www.nyebarilmu.com/wp-content/uploads/2017/12/Tutorial-arduino-mengakses-bluetooth-hc-05.png?resize=613%2C507&ssl=1>)

## 2.5 Arduino Nano

Arduino merupakan sebuah platform dari physical computing yang bersifat open source. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembang, tetapi merupakan kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih IDE adalah sebuah *software* yang berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam *memory microcontroller*. [5]



Gambar 2.17 Arduino Nano

([https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl\\_ws/A300/ARDUINO\\_NANO\\_03.png](https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/A300/ARDUINO_NANO_03.png))



Arduino Nano adalah salah satu board mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis microkontroler ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau Atmega 16(untuk Arduino versi 2.x). Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan *Arduino Duemilanove*, tetapi dalam paket yang berbeda. ArduinoNano tidak menyertakan colokan DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan *port USB Mini-B*. *Arduino Nano* dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech.[15]

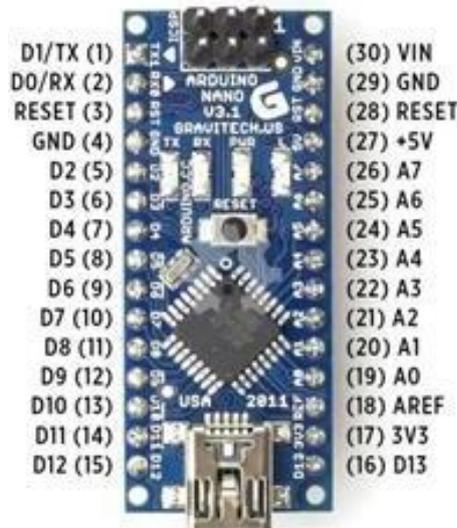
### **2.5.1 Konfigurasi Pin Arduino Nano**

Konfigurasi pin Arduino Nano.Arduino Nano memiliki 30 Pin. Berikut Konfigurasi pin Arduino Nano.

- a. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya digital.
- b. GND merupakan pin ground untuk catu daya digital.
- c. AREF merupakan Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan fungsi `analogReference()`.
- d. RESET merupakan Jalur LOW ini digunakan untuk me-reset (menghidupkan ulang) mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset pada shield yang menghalangi papan utama Arduino.
- e. Serial RX (0) merupakan pin sebagai penerima TTL data serial.
- f. Serial TX (1) merupakan pin sebagai pengirim TT data serial.
- g. External Interrupt (Interupsi Eksternal) merupakan pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.



- h. Output PWM 8 Bit merupakan pin yang berfungsi untuk `dataanalogWrite()`.
- i. SPI merupakan pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi.
- j. LED merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang diset bernilai HIGH, maka LED akan menyala, ketika pin diset bernilai LOW maka LED padam. LED Tersedia secara built-in pada papan Arduino Nano.
- k. Input Analog (A0-A7) merupakan pin yang berfungsi sebagai pin yang dapat diukur/diatur dari mulai Ground sampai dengan 5 Volt, juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah mereka menggunakan fungsi `analogReference()`.



Gambar 2.17 Konfigurasi Pin Arduino Nano

([https://3.bp.blogspot.com/-3kcLPLY38Yw/WNI7xTSVAnI/AAAAAAAAAEs/XwyAGKNxY0Eh8XwFhLVQUxpK425UPE8QCK4B/s1600/04\\_Pin\\_Arduino\\_Nano.jpg](https://3.bp.blogspot.com/-3kcLPLY38Yw/WNI7xTSVAnI/AAAAAAAAAEs/XwyAGKNxY0Eh8XwFhLVQUxpK425UPE8QCK4B/s1600/04_Pin_Arduino_Nano.jpg))