

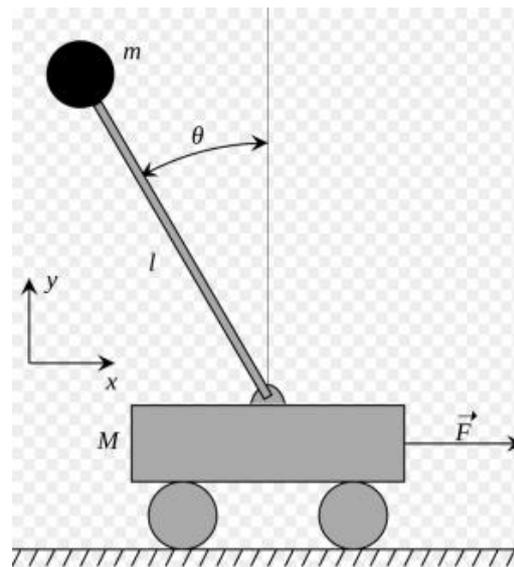
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robot Keseimbangan (*Balancing Robot*)

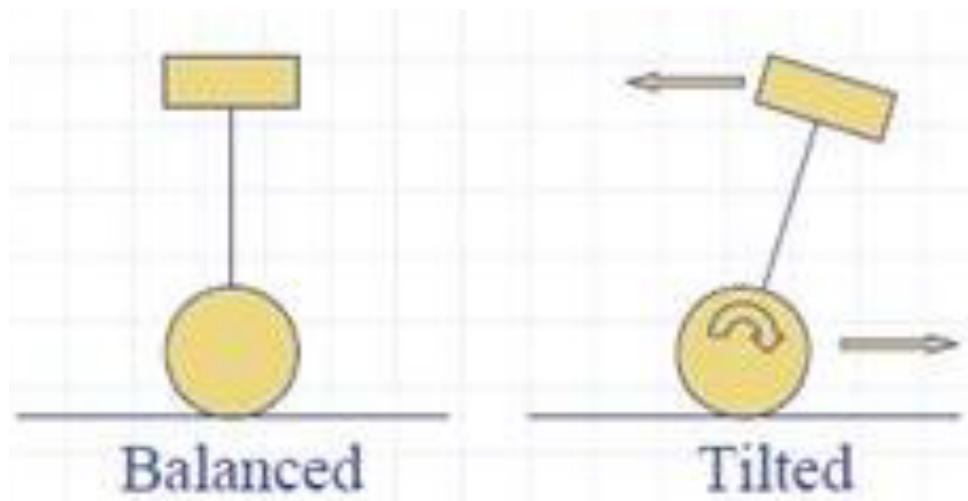
Robot keseimbangan (*balancing robot*) beroda dua merupakan suatu robot mobile yang memiliki dua buah roda disisi kanan dan kirinya yang tidak akan seimbang apabila tanpa adanya kontroler. Robot keseimbangan (*balancing robot*) ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik (*Inverted Pendulum*).

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.



Gambar 2.1 Pendulum Terbalik
(Sumber : <https://www.pngdownload.id/png-tfkeux>)[2].

Dalam keadaan diam, pendulum terbalik yang diatur agar pada keadaan awal yang tegak, akan mulai membentuk sudut θ 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.

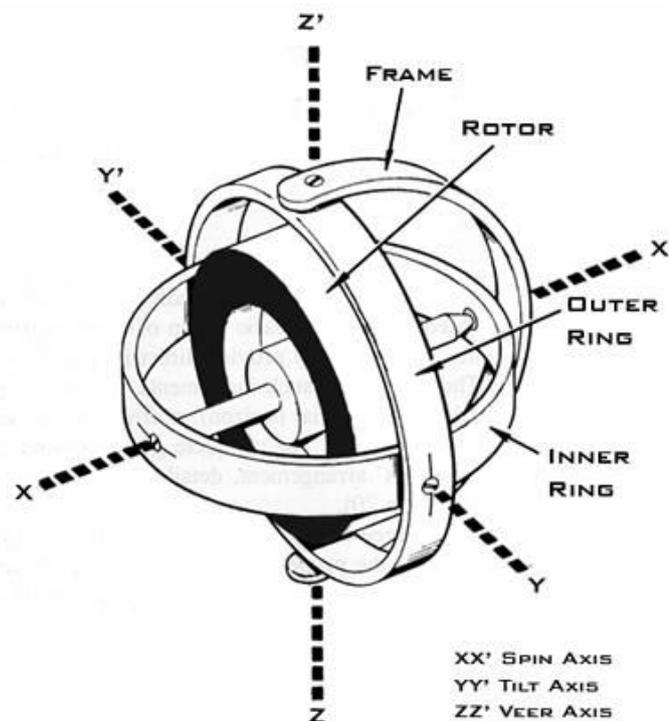


Gambar 2.2 *Balancing Robot Beroda Dua Menyeimbangkan Diri*
(Sumber:<http://www.instructables.com/id/Self-Balancing-Robot/step2/Physics>).

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

2.2 Sensor Gyroscope dan Accelerometer

Gyroscope atau *Gyro* adalah perangkat untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, dengan prinsip ketetapan momentum sudut. Mekanismenya adalah sebuah roda berputar dengan piringan didalamnya yang tetap stabil. Giroskop sering digunakan pada robot atau heli dan alat-alat canggih lainnya. *Gyroscope* adalah berupa sensor gyro untuk menentukan orientasi gerak dengan bertumpu pada roda atau cakram yang berotasi dengan cepat pada sumbu.



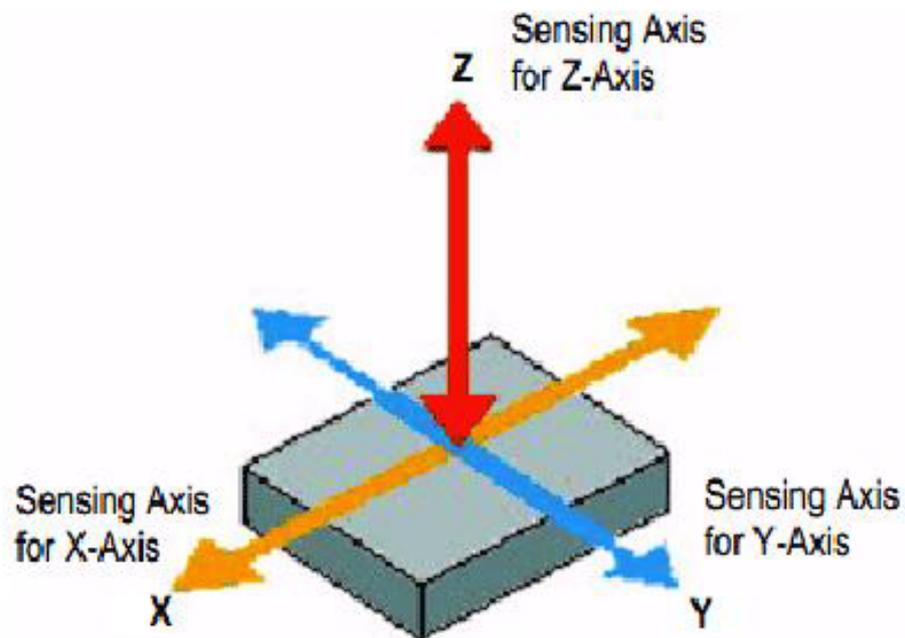
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Gyroscope

(Sumber : <https://www.apritos.com/5155/gyroscope-pada-flight-instrument>)

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 ϕ (kanan dan

kiri), sumbu y nantinya menjadi sudut θ (atas dan bawah), dan sumbu z nantinya menjadi sudut ψ (depan dan belakang).

Sensor *Accelerometer* yaitu sebuah transducer 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.



Gambar 2.4 Prinsip Accelerometer

(Sumber: <http://www.engineersgarage.com/contribution/microcontroller-based-accelerometer-project?page=3>)

Berdasarkan ilmu Fisika dan Hukum Fisika bahwa bila konduktor digerakan ke medan magnet ataupun sebaliknya, maka yang terjadi adalah akan menimbulkan suatu tegangan induksi pada konduktor yang ada. *Accelerometer* sensor yang diletakan di permukaan bumi itu bisa mendeteksi suatu percepatan $1g$ atau sebuah ukuran gravitasi pada bumi di titik pusat vertical. Untuk pendeteksi bumi pada titik vertical, karena disebabkan adanya pergerakan percepatan dari horizontal, oleh karena itu

Sensor *Accelerometer* ini akan mengukur percepatannya pada waktu itu atau secara langsung ketika percepatan itu bergerak secara horizontal. Karena Sensor *Accelerometer* ini dibuat oleh perusahaan atau pabriknya yang dibuat secara berbeda mulai dari jenis dan spesifikasinya karena alat ini sangat khusus untuk setiap digunakannya. Sekarang pada saat ini, Hampir semua alat ini berpenampilan Digital.

2.3 Adaptor

Adaptor adalah sebuah perangkat berupa rangkaian elektronika untuk mengubah tegangan listrik yang besar menjadi tegangan listrik lebih kecil, atau rangkaian untuk mengubah arus bolak-balik (arus AC) menjadi arus searah (arus DC). Adaptor / *power supply* merupakan komponen inti dari peralatan elektronik. Adaptor digunakan untuk menurunkan tegangan AC 22 Volt menjadi kecil antara 3 volt sampai 12 volt sesuai kebutuhan alat elektronika. Terdapat 2 jenis adaptor berdasarkan sistem kerjanya, adaptor sistem trafo *step down* dan adaptor sistem *switching*.

Dalam prinsip kerjanya kedua sistem adaptor tersebut berbeda, adaptor *step-down* menggunakan teknik induksi medan magnet, komponen utamanya adalah kawat email yang di lilit pada teras besi, terdapat 2 lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan skunder, ketika listrik masuk kelilitan primer maka akan terjadi induksi pada kawat email sehingga akan terjadi gaya medan magnet pada teras besi kemudian akan menginduksi lilitan skunder.

Sedangkan sistem *switching* menggunakan teknik transistor maupun IC *switching*, adaptor ini lebih baik dari pada adaptor teknik induksi, tegangan yang di keluarkan lebih stabil dan komponennya suhunya tidak terlalu panas sehingga mengurangi tingkat resiko kerusakan karena suhu berlebih, biasanya regulator ini di gunakan pada peralatan elektronik digital.

Adaptor dapat dibagi menjadi empat macam, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Adaptor DC *Converter*, adalah sebuah adaptor yang dapat mengubah tegangan DC yang besar menjadi tegangan DC yang kecil. Misalnya : Dari tegangan 12v menjadi tegangan 6v;
- Adaptor *Step Up* dan *Step Down*. Adaptor *Step Up* adalah sebuah adaptor yang dapat mengubah tegangan AC yang kecil menjadi tegangan AC yang besar. Misalnya : Dari Tegangan 110v menjadi tegangan 220v. Sedangkan Adaptor *Step Down* adalah adaptor yang dapat mengubah tegangan AC yang besar menjadi tegangan AC yang kecil. Misalnya : Dari tegangan 220v menjadi tegangan 110v.

- Adaptor *Inverter*, adalah adaptor yang dapat mengubah tegangan DC yang kecil menjadi tegangan AC yang besar. Misalnya : Dari tegangan 12v DC menjadi 220v AC.
- Adaptor *Power Supply*, adalah adaptor yang dapat mengubah tegangan listrik AC yang besar menjadi tegangan DC yang kecil. Misalnya : Dari tegangan 220v AC menjadi tegangan 6v, 9v, atau 12v DC.

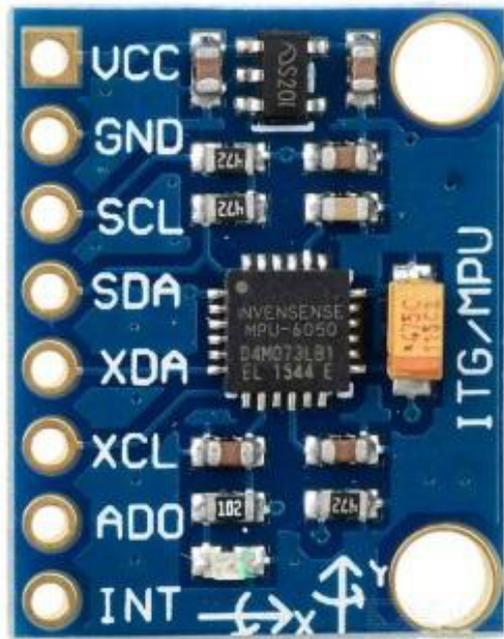


Gambar 2.5 Bentuk Fisik Adaptor

(Sumber : tecnoarnel.com.ve)

2.4 Modul MPU 6050

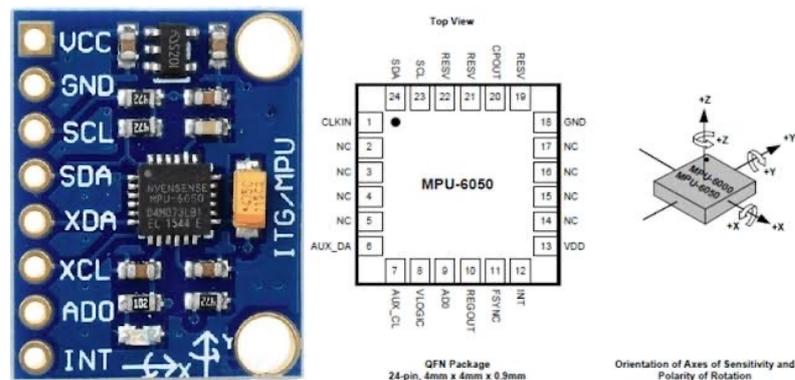
MPU-6050 menerapkan teknologi *MotionFusion* dan *run-time calibration firmware* yang menjamin kinerja optimal bagi pengguna. Dengan adanya *Digital Motion Processor* modul ini dapat diintegrasikan dengan magnetometer atau sensor lainnya lewat antarmuka I2C untuk memproses algoritma gerakan yang kompleks secara internal tanpa membebani kerja mikroprosesor / mikrokontroler utama.



Gambar 2.6 Sensor MPU 6050 Gyroscope dan Accelerometer
(Sumber: <http://www.vcc2gnd.com/sku/MPU-6050>).

MPU-6050 juga adalah modul sensor yang terdapat dua fungsi didalamnya yaitu, *accelerometer* dengan *micro-electromechanical system* (MEMS) dan *gyroscope* dengan *micro- electromechanical system* (MEMS) dalam sebuah *chip*. Terdapat 16 pin analog yang dilakukan pengkonversian terlebih dahulu untuk menentukan sumbu, sehingga sensor ini dapat bekerja dengan maksimal. Nilai dari sumbu x, y, dan z pada sensor ini dapat diambil secara bersamaan dalam satu waktu. Sensor ini menggunakan *Inter Integrated Circuit (interface I2C-bus)* sebagai koneksi.

MPU6050 memiliki 3 ADC 16 bit untuk keluaran *gyroscope* dan 3 ADC 16 bit untuk keluaran *accelerometer*. Untuk presisi pelacakan terkait cepat atau lambat pergerakan, perangkat ini memiliki rentang skala *gyroscope* yang dapat diprogram oleh pengguna dari kurang lebih 250, kurang lebih 500, kurang lebih 1000, dan kurang lebih 2000 derajat per detik dan rentang skala *accelerometer* yang dapat diprogram oleh pengguna dari kurang lebih 2g (*gyroscope*), kurang lebih 4g, kurang lebih 8g, kurang lebih 16g. Rentang tegangan operasi dari MPU6050 ini antara 2,375 Volt sampai dengan 3,46 Volt. Pengambilan data dari MPU6050 dapat dilakukan dengan menggunakan protokol I2C.



Gambar 2.7 Bentuk Fisik Sensor Gyroscope dan Accelerometer MPU6050

(Sumber: <https://www.edukasiElektronika.com/2020/10/sensor-gyroscope-dan-accelerometer.html>).

Produsen IC ini mendukung pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk menggunakan chip ini, antara lain dengan merilis

API (*Application Programming Interface*) yang dapat diakses dari situs web resmi *Invensense*.

2.4.1 Fitur & Spesifikasi MPU-6050

- a. Catu daya IC dari 2,375 V ~ 3,46 V namun modul ini sudah dilengkapi dengan LDO / *low drop-out voltage regulator* (untuk pengguna Arduino, Anda dapat menyambungkan pin Vcc dari modul ini dengan pin 5V pada Arduino Anda).
- b. Antarmuka kendali dan pengumpulan data lewat protokol I2C berkecepatan tinggi (*Fast Mode*, 400 kHz), pada modul ini sudah dipasangkan *pull-up resistor* 2K2 sehingga Anda bisa menyambungkan pin SDA dan SCL dari modul ini dengan mikrokontroler / Arduino Board tanpa resistor eksternal tambahan.
- c. Pilihan rentang skala giroskop: 250° (sensitivitas 13,1), 500° (65,6), 1000° (32,8), 2000° (16,4) per detik; sensitivitas dalam satuan LSB/°/detik.
- d. Pilihan rentang skala akselerometer: ±2g (sensitivitas 16384), ±4g (8192), ±8g (4096), ±16g (2048); sensitivitas dalam LSB/g.
- e. Data keluaran MotionFusion sebanyak 6 atau 9 sumbu dalam format matriks rotasi, quaternion, sudut Euler, atau data mentah (*raw data format*).
- f. Memori penampung data (*buffer memory*) sebesar 1 Kb, FIFO (*First-In-First-Out*).
- g. Dengan digabungkannya akselerometer dan giroskop dalam satu sirkuit terpadu menyebabkan pendeteksian gerakan menjadi lebih akurat (*reduced settling effects and sensor drift*) karena faktor kesalahan penyesuaian persilangan sumbu antara akselerometer dan giroskop dapat dihilangkan.
- h. DMP™ Engine mengambil alih komputasi rumit dari prosesor utama sehingga sistem tidak terbebani kalkulasi yang kompleks (*red*: sebelum adanya IC ini, perancang rangkaian elektronika biasanya menggunakan chip PLD eksternal untuk mengerjakan komputasi semacam ini karena perhitungan matematika dalam kalkulasi gerak sangatlah kompleks dan

terlalu membebani kerja mikrokontroler yang biasanya bertenaga terbatas).

- i. Tersedia platform pengembangan perangkat lunak MotionApps™ untuk sistem operasi Android, Linux, dan Windows.
- j. Algoritma untuk menghitung bias dan kalibrasi kompas sudah terpasang dan siap digunakan, tidak perlu intervensi dari pemakai.
- k. Interupsi yang dapat diprogram untuk mendeteksi pengenalan gestur (*gesture recognition*), pergeseran (*panning*), *zooming*, *scrolling*, dan *shake detection*.
- l. Konsumsi arus giroskop hanya sebesar 3,6 mA, giroskop + akselerometer hanya 3,8 mA (tenaga penuh, 1 kHz *sample rate*).
- m. Moda siaga hemat daya hanya mengkonsumsi arus sebesar 5µA.
- n. Dapat menoleransi guncangan hingga 10000g.
- o. Modul dengan PCB berkualitas dengan *gold immersion welding* untuk menjamin kualitas.
- p. Akses sangat mudah menggunakan pin standar dengan *pitch* 0,1" / 2,54 mm.

2.4.2 Prinsip Kerja MPU6050

MPU6050 adalah sebuah sensor inersial yang sangat populer yang menggabungkan akselerometer dan giroskop dalam satu chip. Sensor ini mampu mengukur percepatan linier dan kecepatan angular pada tiga sumbu yang berbeda. Berikut adalah prinsip kerja dari MPU6050 :

1. Akselerometer

MPU6050 dilengkapi dengan akselerometer tiga sumbu (aksis X, Y, dan Z). Prinsip kerja akselerometer adalah berdasarkan perubahan kapasitansi atau resistansi dalam mikromekanisme silikon yang terjadi ketika sensor mengalami percepatan. Ketika sensor diberi percepatan linier, massa-massa mikro dalam sensor akan bergerak mengikuti arah percepatan tersebut. Perubahan posisi massa-massa ini akan mengubah kapasitansi atau

resistansi yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang mewakili percepatan pada masing-masing sumbu.

2. Giroskop

MPU6050 juga dilengkapi dengan giroskop tiga sumbu (aksis X, Y, dan Z). Giroskop bekerja berdasarkan efek Coriolis, yaitu saat sensor mengalami rotasi, suatu gaya Coriolis akan mempengaruhi massa-massa mikro di dalam sensor. Gaya Coriolis ini menyebabkan massa-massa tersebut bergerak relatif terhadap sensor, yang menghasilkan perubahan kapasitansi atau resistansi. Perubahan ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang mewakili kecepatan angular (kecepatan rotasi) pada masing-masing sumbu.

3. Penyelaras Data

MPU6050 menyediakan data mentah dalam bentuk nilai ADC (Analog-to-Digital Converter) untuk masing-masing akselerometer dan giroskop. Namun, sebelum data dapat digunakan, biasanya diperlukan kalibrasi dan penyelarasan. Proses ini melibatkan menghapus bias dan ketidakakuratan dari sensor untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan akurat dan konsisten.

4. Komunikasi dengan Mikrokontroler

MPU6050 berkomunikasi dengan mikrokontroler atau perangkat lain melalui komunikasi serial seperti I2C (Inter-Integrated Circuit) atau SPI (Serial Peripheral Interface). Mikrokontroler mengirim perintah dan alamat melalui jalur komunikasi serial, dan MPU6050 akan mengirim data akselerometer dan giroskop ke mikrokontroler sebagai tanggapan.

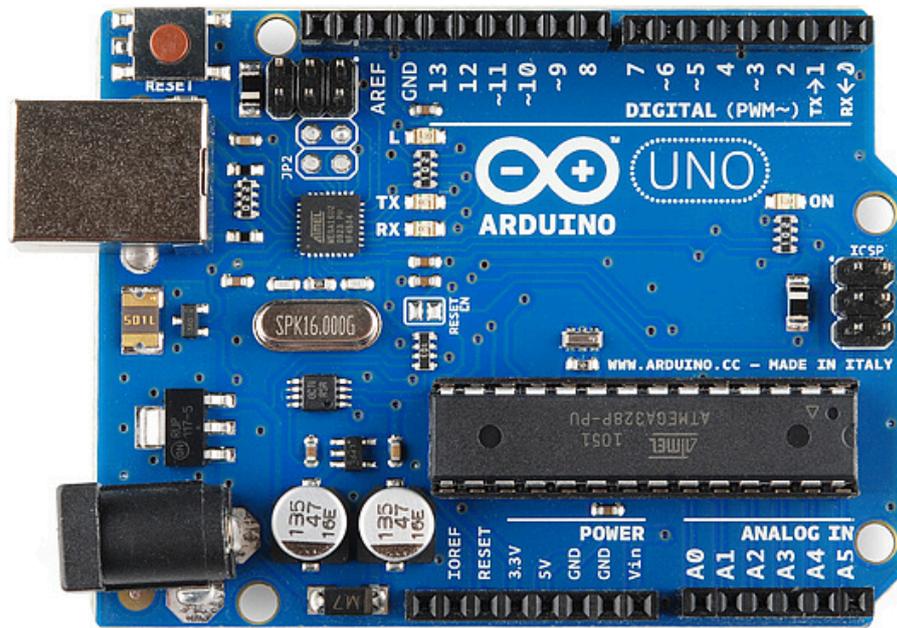
5. Pengolahan Data

Setelah mikrokontroler menerima data dari MPU6050, data mentah tersebut dapat diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai-nilai percepatan linier dan kecepatan angular yang lebih bermakna. Nilai-nilai ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengukuran orientasi, deteksi gerakan, stabilisasi, navigasi, dan banyak lagi.

2.5 Arduino

Arduino diartikan sebagai sebuah platform dari *physical computing* yang bersifat sumber terbuka. Arduino bukan sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi arduino adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)* yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller*. Ada banyak projek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah platform karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi.

Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang open source atau sumber terbuka, baik untuk *hardware* maupun *software*-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang. Arduino bebas di *download* gambarnya, dibeli komponen-komponennya, membuat PCB-nya dan merangkainya sendiri tanpa harus membayar kepada para pembuat Arduino. Sama halnya dengan IDE Arduino yang bisa di-*download* dan diinstal pada komputer secara gratis.



Gambar 2.8 Arduino
(Sumber: *bluino.com*)

2.5.1. Input dan Output (I/O)

Setiap 14 pin digital pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi `pinmode()`, `digitalWrite()` dan `digitalRead()`. Fungsi-fungsi tersebut beroperasi di tegangan 5 Volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima suatu arus maksimum 40mA dan mempunyai sebuah resistor *pull-up* (terputus secara default) 20-50 kOhm. Selain itu, beberapa pin mempunyai fungsi-fungsi khusus.

Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- a. Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan memancarkan (TX) serial data TTL (Transistor-Transistor Logic). Kedua pin ini dihubungkan ke pin-pin yang sesuai dari chip Serial Atmega8U2 USB-ke-TTL.
- b. Eksternal Interrupts: 2 dan 3. Pin-pin ini dapat dikonfigurasi untuk dipicu sebuah interrupt (gangguan) pada sebuah nilai rendah, suatu kenaikan atau penurunan yang besar, atau suatu perubahan nilai. Lihat fungsi `attachInterrupt` untuk lebih jelasnya.

- c. PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Memberikan 8-bit PWM output dengan fungsi analog write.
- d. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin-pin ini mensupport komunikasi SPI menggunakan SPI library.
- e. LED: 13. Ada sebuah LED yang terpasang, terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai HIGH LED menyala, ketika pin bernilai LOW LED mati.

Arduino UNO mempunyai 6 input analog, diberi label A0 sampai A5, setiapnya memberikan 10 bit resolusi (contohnya 1024 nilai yang berbeda). Secara default, 6 input analog tersebut mengukur dari ground sampai tegangan 5 Volt, dengan itu mungkin untuk mengganti batas atas dari rangenya dengan menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Di sisi lain, beberapa pin mempunyai fungsi spesial:

TWI: pin A4 atau SDA dan pin A5 atau SCL. Mensupport komunikasi TWI dengan menggunakan Wire library

Ada sepasang pin lainnya pada board:

- a. AREF. Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan `analogReference()`.
- b. Reset. Membawa saluran ini LOW untuk mereset mikrokontroler. Secara khusus, digunakan untuk menambahkan sebuah tombol reset untuk melindungi yang memblock sesuatu pada board.

Prinsip kerja dari Arduino Uno dapat dijelaskan sebagai berikut:

Mikrokontroler ATmega328P

Arduino Uno dilengkapi dengan mikrokontroler ATmega328P, yang merupakan otak dari papan Arduino. Mikrokontroler ini memiliki CPU, RAM, EEPROM, dan berbagai fitur periferil lainnya yang memungkinkannya untuk menjalankan program dan mengontrol perangkat keras yang terhubung.

Program

Pengguna dapat menulis program (kode) dalam bahasa pemrograman Arduino, yang pada dasarnya adalah bahasa C/C++ dengan fungsi pustaka khusus yang disediakan oleh Arduino IDE (Integrated Development Environment). Program ini akan mengendalikan perilaku Arduino Uno dan perangkat tambahan yang terhubung.

Pengunggahan Program

Setelah kode program ditulis, pengguna dapat mengunggahnya ke Arduino Uno melalui koneksi USB. Kode program dikompilasi menjadi bahasa mesin dan diunggah ke mikrokontroler. Setelah diunggah, program akan mulai berjalan.

Sumber Daya

Arduino Uno dapat diberi daya melalui kabel USB atau melalui jalur VIN dan GND. Pada kebanyakan kasus, papan Arduino Uno diberi daya dari komputer atau adaptor USB eksternal dengan tegangan 5V. Dalam beberapa kasus, tegangan eksternal lebih tinggi (hingga 12V) dapat diberikan melalui pin VIN.

Pin I/O

Arduino Uno memiliki beberapa pin input/output (I/O) digital dan analog. Pin digital dapat digunakan untuk membaca sinyal digital (logika 0 atau 1) atau mengeluarkan sinyal digital. Pin analog dapat digunakan untuk membaca nilai analog dalam rentang tegangan tertentu. Pengguna dapat menghubungkan berbagai perangkat dan sensor ke pin I/O ini untuk mengontrol atau membaca data dari dunia nyata.

Komunikasi Serial

Arduino Uno mendukung komunikasi serial melalui jalur UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Pin TX dan RX pada

papan Arduino Uno digunakan untuk berkomunikasi dengan perangkat lain seperti komputer, modul Bluetooth, atau modul GSM menggunakan protokol serial.

Kristal Resonator

Arduino Uno menggunakan kristal resonator sebagai sumber clock. Kristal ini membantu mikrokontroler untuk menjalankan program dengan kecepatan yang tepat dan konsisten.

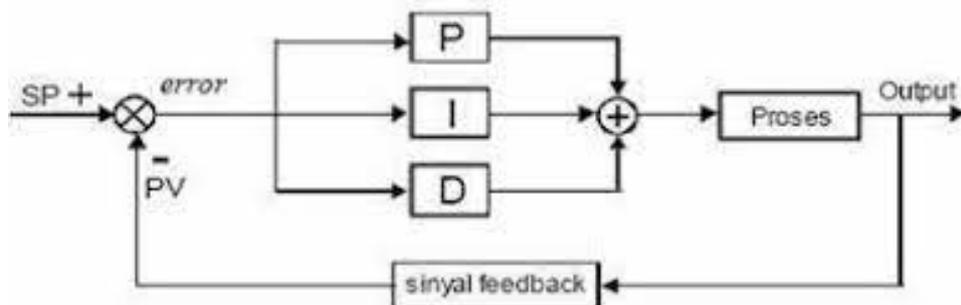
Arduino IDE

Pengguna dapat mengembangkan program Arduino menggunakan Arduino IDE, lingkungan pengembangan yang ramah pengguna yang menyediakan editor kode, kompiler, dan utilitas untuk mengunggah kode ke papan Arduino.

Dengan prinsip kerja di atas, Arduino Uno menjadi alat yang sangat berguna untuk berbagai proyek elektronika dan pemrograman, serta memberikan akses mudah bagi pengguna untuk mengendalikan perangkat keras secara sederhana dan interaktif.

2.6 Kendali PID (Proportional Integral Derivative)

Sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Sistem kendali PID terdiri dari tiga buah parameter cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-- masing cara dapat bekerja sendiri maupun digabung. Blok diagram sistem kendali PID ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.9 Blog Diagram Sistem Kendali PID

(Sumber : <https://www.robotics-university.com/2015/02/teknik-kendali-pid.html>)

Cara mentuning parameter-parameter PID bisa dilakukan dengan melihat tabel parameter PID. Dengan menganalisa respon yang dihasilkan, nilai-nilai K_p , K_i , dan K_d bisa diubah-ubah sesuai dengan tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel Parameter PID

<i>Response loop tertutup</i>	<i>Rise time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Setting time</i>	<i>Error steady</i>
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan kecil	Menurunkan /mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Menghilangkan
Derivatif	Perubahan kecil	Menurunkan	Mengurangi	Perubahan kecil

2.7 Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan dan banyak lainnya. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, kipas angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik.

Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-undirectional*.

2.7.1 Prinsip Kerja Motor DC

Cara kerja dari Dc motor ini sangat sederhana, yaitu apabila terdapat arus yang melewati suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan. Adapun fungsi motor DC adalah: Motor yang menggunakan arus DC biasanya sering diaplikasikan pada penggerak pintu putar. Motor DC ini juga bisa diaplikasikan pada jenis rangkaian robot sederhana. Dapat juga digunakan sebagai penggerak pada berbagai [komponen elektronika](#). Misalnya saja seperti pada vibrator ponsel, baling-baling kipas, alat bor dan alat sejenisnya.

2.7.2 Mengenal Komponen Motor DC

Komponen motor DC adalah:

1. Rotor.
2. Stator.
3. Brush.
4. Belitan armature.
5. Commutator.
6. Frame atau yoke.
7. Belitan medan.
8. Pole.

Mari langsung saja kita simak pembahasan lengkap mengenai komponen utama penyusun motor DC berikut ini.

1. Rotor

Bagian motor DC yang pertama adalah rotor. Dimana komponen bernama rotor inilah yang menjadi alat gerak secara dinamik. Terutama ketika ada tegangan yang mengalir pada rangkaian.

Adapun komponen-komponen yang menjadi penyusun rotor antara lain adalah:

- Poros (shaft)
- Inti jangkar (armatur core).
- Sikat komutator (brush).
- Belitan armature.

2. Stator

Komponen selanjutnya yaitu stator. Dimana stator merupakan komponen motor DC yang tidak bergerak. Meskipun demikian, stator berperan penting untuk membuat rotor agar tetap berputar.

Caranya yaitu dengan menghasilkan medan magnet disekitar rotor, agar rotor tersebut dapat bergerak ketika tegangan dialirkan pada rangkaian.

Adapun bagian-bagian yang menyusun stator diantaranya adalah sebagai berikut:

- Pole atau kutub.
- Belitan medan.
- Frame atau yoke.

3. Brush

Komponen yang satu ini letaknya berada di dalam comutator. Brush merupakan salah satu komponen elektronika yang disusun dari meterial graphite atau karbon.

Fungsi utama dari brush adalah untuk menghantarkan arus listrik menuju rotor.

4. Belitan Armature

Belitan armature merupakan komponen yang fungsinya untuk menghasilkan medan magnet yang bersifat statis.

Jadi, [listrik statis](#) yang mengalir pada rotor justru dihasilkan oleh belitan armature yang satu ini.

5. Commutator

Komponen yang satu ini sebenarnya berasal dari slip ring. Yang perlu diketahui bahwa slip ring akan dipotong menjadi beberapa bagian. Kemudian bagian dari potongan tersebut nantinya akan dibuat tersambung dengan belitan armature.

[Komutator adalah](#) komponen yang berfungsi untuk mengalirkan energi arus listrik menuju belitan armature. Nah komponen tersebut pada umumnya terbuat dari bahan atau material tembaga.

Ketika terjadi perubahan arus pada belitan armature, maka komutator menjadi bagian terpenting yang membantu melakukan perubahan arus pada rangkaian tersebut.

6. Frame Atau Yoke

Komponen motor DC bernama frame atau yoke ini nantinya akan difungsikan sebagai pelindung komponen lain. Yakni pelindung rotor yang terdapat pada motor DC.

Jadi bisa disimpulkan bahwa frame ini memang komponen yang didesain untuk melindungi semua komponen rotor. Misalnya saja mulai dari armature, pole, belitan medan, kutub magnet dan lain sebagainya.

7. Belitan Medan

Belitan medan ini menjadi salah satu komponen penyusun motor DC yang perannya juga penting. Belitan medan disebut juga sebagai istilah field winding.

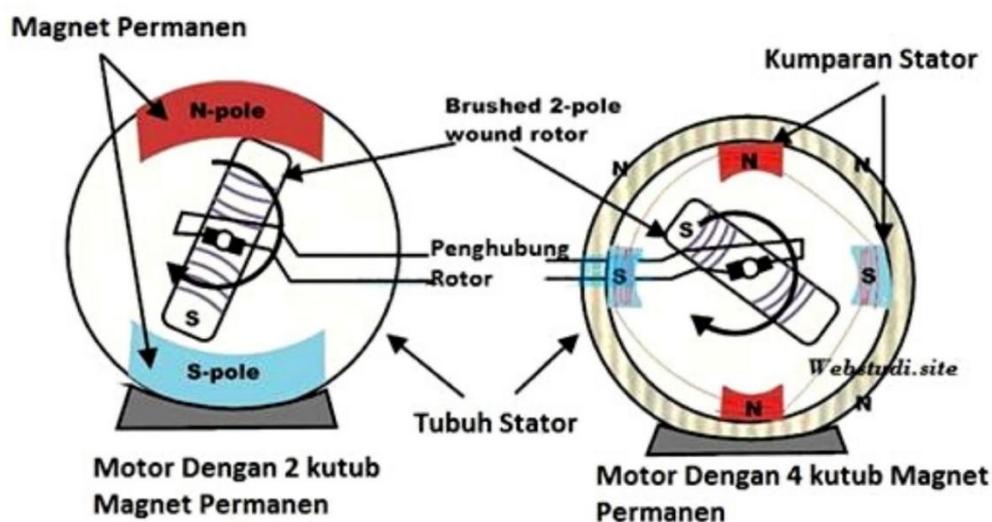
Komponen yang satu ini mempunyai fungsi utama dalam proses menghasilkan medan statis pada stator pada motor DC.

8. Pole

Pole juga terdapat pada komponen di dalam stator. Jadi, pole ini merupakan alat yang fungsinya untuk menghasilkan medan magnet. Selain itu, pole juga difungsikan untuk memastikan rotor untuk tetap berputar sebagai mana mestinya.

Pole terletak di bagian dalam frame atau yoke. Jadi, pole ini berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet. Kemudian fluks magnet akan menyebar diantara stator dan rotor. Hingga kemudian akan menghasilkan medan magnet yang membantu rotor untuk tetap berputar.

Untuk mengetahui lebih jauh mengenai konstruksi motor DC, simak contoh gambar motor DC di bawah ini :



Gambar 2.10 Gambar Motor DC

2.7.3 Jenis – jenis Motor DC

Tidak hanya terdapat satu macam saja, motor DC ini diklasifikasikan menjadi dua macam. Dimana jenis keduanya yakni motor DC berdasarkan sumber daya pembentuknya adalah motor DC yang memakai sumber daya terpisah dan satunya dengan memakai sumber dayanya sendiri.

Untuk lebih jelasnya, mari langsung saja kita simak pembahasan mengenai jenis-jenis motor DC di bawah ini:

1. Motor DC Dengan Sumber Daya Sendiri

Jenis motor DC yang pertama yakni memakai sumber dayanya sendiri. Jenis ini ternyata juga dibagi lagi menjadi beberapa turunan.

Berikut ini beberapa jenis motor DC dengan sumber daya sendiri:

- **Tipe Shunt**

Pada motor tipe shunt, terdapat gulungan medan yang tersambung secara [paralel](#) pada power supply yang sama dengan lilitan armature.

Namun meskipun memiliki daya yang berasal dari power supply yang sama, namun ketentuan jenis arus dan jangkar yang nantinya dihasilkan akan berbeda.

Selain itu, meskipun terjadi variasi pada beban namun tidak akan berpengaruh pada kecepatan dari motor DC shunt. Hal ini karena kecepatan yang dihasilkan oleh alat tersebut tetap konstan.

Selain itu alat ini juga tidak bervariasi karena adanya beban mekanik yang dihasilkan oleh output-nya.

- **Tipe Seri**

Jenis motor DC tegangan sendiri yang selanjutnya adalah tipe [seri](#). Pada motor jenis tersebut, lilitan armature dan belitan medan akan tersambung secara seri pada alat catu daya.

Pada motor DC tipe seri, arus yang masuk kedalam rangkaian akan bergerak ke arah yang sama berdasarkan polaritas sumber tegangan. Jadi ketika polaritas dari sumber tegangan diubah, maka secara otomatis arah medan magnet akan berubah haluan juga.

Selain itu, motor dengan tipe seri ini juga disebut sebagai motor universal. Disebut demikian karena motor tersebut sangat fleksibel. Hal ini karena dapat bekerja dengan dua [jenis catu daya](#), baik yang menggunakan tegangan AC ataupun DC.

- **Tipe Gabungan / Compound**

Disebut sebagai tipe gabungan, karena motor ini terbuat dari kombinasi antara rangkaian seri dan shunt. Jadi, rangkaian compound ini memiliki dua sirkuit yang menghasilkan medan magnet.

Berdasarkan orientasi fluks-nya motor DC tipe gabungan juga masih dibagi menjadi dua macam. Yaitu ling shunt compound DC motor dan short shunt compound DC motor.

Jika ling shunt compound DC memiliki rangkaian kumparan yang dihubungkan secara paralel pada belitan armature. Maka short shunt compound DC memiliki rangkaian kumparan yang terdiri dari kombinasi antara kumparan anker paralel dan juga kumparan medan seri.

2. Motor DC Dengan Sumber Daya Terpisah

Seperti namanya, jenis motor DC yang menggunakan sumber daya terpisah alias bukan dari dalam. Jadi, sumber arus yang berfungsi untuk mensuplai rotor dan armature berbeda dengan sumber arus inilah yang nantinya bisa digunakan untuk menggerakkan kumparan.

Karena memiliki rangkaian tambahan yang bertugas untuk mensuplai arus listrik, maka motor DC dengan sumber daya terpisah ini memiliki harga yang jauh lebih mahal di pasaran. Tentu saja jika dibandingkan dengan harga motor DC yang memiliki sumber daya sendiri.

2.7.4 Kelebihan dan Kekurangan Motor DC

Contoh motor DC yang dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari sangat banyak. Misalnya motor DC 12 volt, motor DC arduino, motor DC 5v dan lain sebagainya.[6]

1. Kelebihan Motor DC

Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh motor DC adalah:

- Terbilang mempunyai torsi dan tingkat kecepatan yang jauh lebih mudah untuk dikendalikan.
- Motor DC jenis ini sengaja didesain agar mempunyai torsi awal yang besar.
- Memiliki sistem kontrol yang lebih mudah dipahami karena tergolong cukup sederhana.
- Motor DC juga memiliki respon yang baik. Selain itu cocok juga digunakan meskipun daya yang tersedia terbilang rendah sekalipun.
- Memiliki performa yang mendekati linier dan sejenisnya.

2. Kekurangan Motor DC

Selain kelebihan-kelebihan yang kita bahas diatas, motor tersebut juga memiliki kekurangan. Diantaranya kekurangan motor DC adalah seperti berikut ini:

- Motor jenis tersebut nantinya akan memerlukan perawatan yang khusus dan tidak bisa dilakukan secara sembarangan agar fungsinya tetap terjaga.
- Cenderung tidak cocok jika digunakan pada tegangan dengan daya yang sangat besar.
- Harganya jauh lebih mahal dibandingkan perangkat sejenisnya.
- Tidak dapat digunakan untuk kecepatan tinggi dan lain sebagainya.



Gambar 2.11 Motor DC.

2.8 Driver Motor L298N

L298N adalah IC yang digunakan sebagai driver motor DC pada penelitian ini. IC ini menggunakan prinsip kerja H-Bridge. Tiap H-Bridge dikontrol menggunakan level tegangan TTL yang berasal dari output mikrokontroler. Tegangan yang dapat digunakan untuk mengendalikan robot bisa mencapai tegangan 46 VDC dan arus 2A untuk setiap kanalnya. L298N dapat mengontrol 2 buah motor DC, karena di dalam satu komponen L298N terdapat dua rangkaian H-Bridge. Berikut ini bentuk IC L298N yang digunakan sebagai motor driver. perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengendalikan dan menggerakkan motor DC (Direct Current) atau motor langkah (stepper motor).

Perangkat ini menggunakan teknologi H-bridge yang memungkinkan arus dapat mengalir ke arah yang berlawanan, sehingga memungkinkan kontrol arah putaran motor.

Berikut adalah prinsip kerja dari driver motor L298N:

2.8.1 H-Bridge

Driver motor L298N memiliki dua H-bridge terintegrasi, yang memungkinkan kendali arah putaran motor. H-Bridge terdiri dari empat

transistor (biasanya transistor NPN dan PNP) yang diatur dalam konfigurasi tertentu. Ketika transistor-transistor tersebut diberi sinyal tegangan yang sesuai, arus dapat mengalir melalui motor dengan arah yang diinginkan.

2.8.2 Kontrol Kecepatan

Driver motor L298N juga dapat mengatur kecepatan motor dengan menggunakan teknik PWM (Pulse Width Modulation). PWM bekerja dengan mengatur siklus kerja pulsa arus yang masuk ke motor. Semakin tinggi siklus kerja (lebih banyak waktu dalam kondisi ON daripada OFF), semakin besar rata-rata arus yang mengalir melalui motor, dan ini menghasilkan kecepatan putaran motor yang lebih tinggi.

2.8.3 Konfigurasi Pin

Driver motor L298N memiliki beberapa pin yang digunakan untuk mengendalikan motor. Pin IN1 dan IN2 digunakan untuk mengatur arah putaran motor, sedangkan pin ENA mengatur kecepatan motor untuk motor sebelah kiri. Begitu pula, terdapat pin IN3, IN4, dan ENB yang digunakan untuk mengontrol motor sebelah kanan.

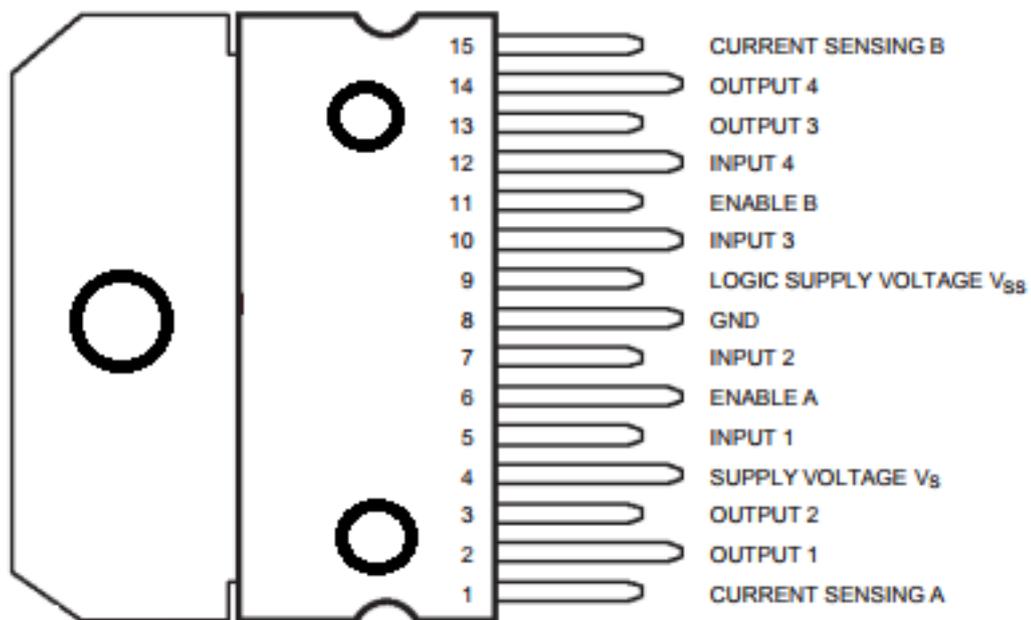
2.8.4 Mode Operasi

Driver motor L298N memiliki dua mode operasi utama untuk mengendalikan motor: "Single Input Mode" dan "Dual Input Mode". Dalam mode single input, hanya satu set pin IN1 dan IN2 yang digunakan untuk mengendalikan kedua motor, sehingga cocok untuk motor DC biasa. Dalam mode dual input, setiap motor dikendalikan secara terpisah menggunakan dua set pin IN dan EN, sehingga lebih cocok untuk mengendalikan stepper motor.

2.8.5 Catu Daya Eksternal

Driver motor L298N memerlukan catu daya eksternal yang cukup untuk menggerakkan motor, karena arus motor biasanya lebih besar dari apa yang dapat disediakan oleh papan mikrokontroler atau sumber daya lainnya.

Dengan menggunakan prinsip kerja di atas, driver motor L298N dapat mengendalikan arah dan kecepatan motor dengan mudah, sehingga sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti robotika, kendaraan otonom, printer 3D, dan banyak lagi.





Gambar 2.12 Konfigurasi PIN L298N.

Pengaturan kecepatan kedua motor dilakukan dengan cara pengontrolan lama pulsa aktif (mode PWM – Pulse width Modulation) yang dikirimkan ke rangkaian driver motor oleh pengendali (mikrokontroler). Duty cycle PWM yang dikirimkan menentukan kecepatan putar motor DC. Driver motor L298N mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Tegangan operasional sampai 46 Volt
- Total arus dc sampai 4 Ampere
- Tegangan saturasinya rendah
- Pengamanan terhadap suhu yang tinggi, Tegangan logic low (0) sampai 1.5 volt.