

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

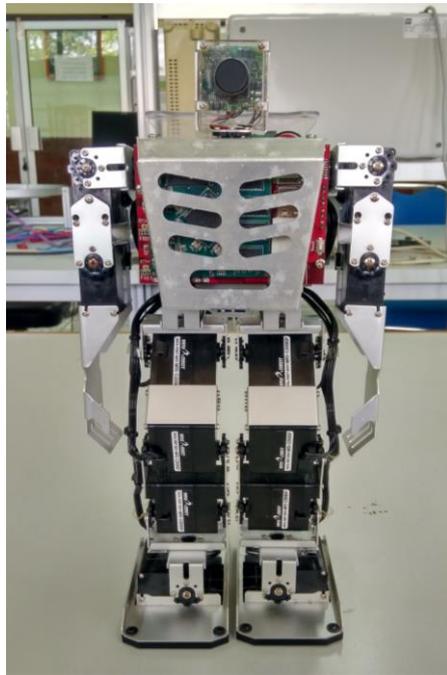
2.1 Robot *Humanoid*

Robot adalah sebuah alat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik, baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia, ataupun menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dulu (Gonzales, 1987). Istilah robot berawal bahasa Cheko "*robota*" yang berarti pekerja atau kuli yang tidak mengenal lelah atau bosan. Robot biasanya digunakan untuk tugas yang berat, berbahaya, pekerjaan yang berulang dan kotor. Biasanya kebanyakan robot industri digunakan dalam bidang produksi. Penggunaan robot lainnya termasuk untuk pembersihan limbah beracun, penjelajahan bawah air dan luar angkasa, pertambangan, pekerjaan "cari dan tolong" (*search and rescue*), dan untuk pencarian tambang. Belakangan ini robot mulai memasuki pasaran konsumen di bidang hiburan, dan alat pembantu rumah tangga, seperti penyedot debu, dan pemotong rumput [1].

Robot *humanoid* adalah robot yang termasuk dalam kategori robot berkaki yang memiliki bentuk struktural menyerupai manusia. Robot ini memiliki penampilan keseluruhan yang didasarkan pada bentuk tubuh manusia, yaitu: memiliki dua buah kaki, dua buah tangan, badan, dan kepala. Salah satu faktor yang sangat penting dan memerlukan perhatian lebih dalam membangun sebuah robot *humanoid* adalah faktor keseimbangan atau *balance* dari robot *humanoid* tersebut. Karena tugas utama dari sebuah robot *humanoid* adalah menirukan gerakan alami yang dilakukan oleh manusia, seperti: berjalan maju, berjalan ke samping, berbelok, melambaikan tangan, hingga menari. Tanpa memiliki keseimbangan yang baik, robot *humanoid* akan kesulitan untuk melakukan gerakan-gerakan tersebut karena robot *humanoid* tersebut akan mudah sekali terjatuh [2].

Robot *humanoid* sendiri menurut Budiharto (2013 : 5) adalah robot yang penampilan keseluruhannya dibentuk menyerupai tubuh manusia, mampu melakukan interaksi dengan peralatan maupun lingkungan yang *based on human* atau sesuai dengan manusia. Beberapa robot *humanoid* juga memiliki wajah

lengkap dengan mata dan mulut. Gambar 2.1 dibawah ini merupakan salah satu contoh dari robot *humanoid*.



Gambar 2.1 Robot *Humanoid* (HBE Robonova AI-II)

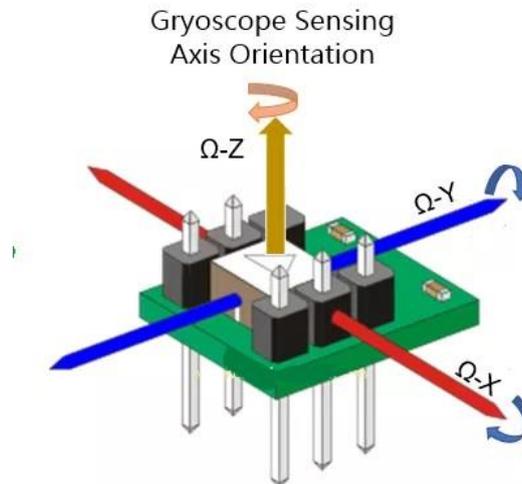
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Robot *humanoid* gencar dikembangkan saat ini, karena penerapan robot ke depan akan difokuskan menjadi robot yang memiliki fitur mirip manusia. Bahkan, diharapkan memiliki kemampuan berinteraksi dan berperilaku seperti manusia yang dikenal dengan *Human Robot Interaction*. Dalam membangun atau merancang robot *humanoid* tentunya memiliki beberapa bagian utama yang harus terdapat pada robot *humanoid* agar bentuk dan fungsinya sama seperti layaknya tubuh manusia. Salah satu bagian penting dalam robot *humanoid* adalah Aktuator, merupakan motor yang bertanggungjawab sebagai media gerakan pada robot. Robot *humanoid* dibangun sedemikian rupa agar mereka mirip dengan tubuh manusia, maka mereka juga mempergunakan aktuator yang berlaku seperti otot dan sendi, meskipun dengan struktur yang berbeda [1].

2.2 Sensor *Gyroscope*

Gyroscope merupakan sensor kecepatan angular yang digunakan untuk mengukur rotasi dari suatu benda. *Gyroscope* berfungsi untuk mengukur atau menentukan orientasi suatu benda berdasarkan pada ketetapan momentum sudut,

dengan kata lain *gyroscope* menentukan gerakan sesuai gravitasi yang dilakukan oleh pengguna. Berikut merupakan Gambar 2.4 yaitu orientasi poros pada *gyroscope*.



Gambar 2.2 Orientasi Poros Pada *Gyroscope*

(Sumber : <https://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-accelorometer-gyroscope-mpu6050/>)

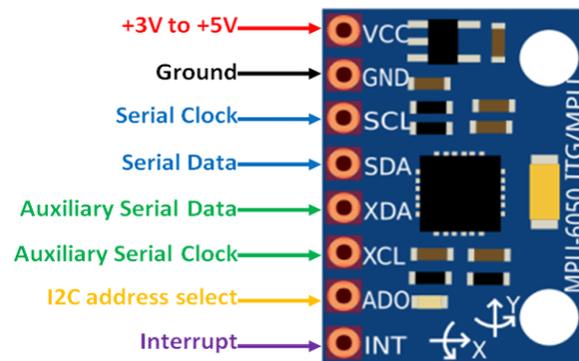
Gyroscope memiliki peranan yang sangat penting dalam hal mempertahankan keseimbangan suatu benda. *Gyroscope* memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu yaitu, sumbu "x" yang nantinya akan menjadi sudut Φ *phi* (kanan dan kiri) dari sumbu "y" nantinya menjadi sudut θ *theta* (atas dan bawah), dan sumbu "z" nantinya menjadi sudut ϕ *psi* (depan dan belakang). Sistem koordinat sensor sama dengan penggunaan pada sensor percepatan. Rotasi bernilai positif dalam arah berlawanan jarum jam, maka dari itu proses pengamatan melihat dari beberapa lokasi positif pada x, y, z sumbu pada perangkat diposisikan pada titik asal akan melaporkan rotasi positif jika perangkat tampaknya berputar berlawanan arah jarum jam. Output dari *gyroscope* terintegrasi dari waktu ke waktu untuk menghitung rotasi yang menggambarkan perubahan sudut atas perubahan waktu [3].

Kelebihan dari *gyroscope* yaitu, *gyroscope* memiliki respon yang cepat dalam menghasilkan perubahan pada sudut dan respon yang lebih baik. Sedangkan kekurangan dari *gyroscope* yaitu, ketidakteelitian dari pembacaan *gyroscope*, sudut kemiringan yang dihitung akan mengalami *drift* dari waktu ke

waktu. *Gyroscope* adalah penyempurna *accelerometer*, maka *gyroscope* hanya bisa berfungsi dengan baik jika pada perangkat tersebut sudah terdapat *accelerometer* [4].

2.2.1 IMU MPU-6050 6-Axis Gyroscope+Accelerometer Module

IMU MPU-6050 adalah perangkat *MotionTracking* pertama yang memiliki 6-axis dengan mengombinasikan 3-axis *gyroscope*, 3-axis *accelerometer*, dan sebuah *Digital Motion Processor* dalam sebuah perangkat kecil. Dilengkapi dengan *I²C sensor bus*, yang dapat menerima input langsung dari perangkat eksternal 3-axis *compass* untuk membuatnya menjadi 9-axis *output*. Berikut ini merupakan Gambar 2.5 yaitu pin Out Modul MPU-6050.



Gambar 2.3 Modul MPU-6050

(Sumber : <https://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-accelorometer-gyroscope-mpu6050/>)

Spesifikasi dari modul MPU-6050 adalah, sebagai berikut:

1. 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)
2. 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

3. Pilihan rentang skala giroskop: 250° (sensitivitas 13,1), 500° (65,6), 1000° (32,8), 2000° (16,4) per detik; sensitivitas dalam satuan LSB/°/detik
4. Pilihan rentang skala akselerometer: ±2g (sensitivitas 16384), ±4g (8192), ±8g (4096), ±16g (2048); sensitivitas dalam LSB/g
5. Data keluaran MotionFusion sebanyak 6 atau 9 sumbu dalam format matriks rotasi, quaternion, sudut Euler, atau data mentah (*raw data format*).
6. Memori penampung data (*buffer memory*) sebesar 1 Kb, FIFO (*First-InFirst-Out*)
7. 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
8. 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).
9. Tersedia platform pengembangan perangkat lunak MotionApps™ untuk sistem operasi Android, Linux, dan Windows
10. Algoritma untuk menghitung bias dan kalibrasi kompas sudah terpasang dan siap digunakan, tidak perlu intervensi dari pemakai
11. Interupsi yang dapat diprogram untuk mendeteksi pengenalan gestur (*gesture recognition*), pergeseran (*panning*), *zooming*, *scrolling*, dan *shake detection*
12. Konsumsi arus giroskop hanya sebesar 3,6 mA, giroskop + akselerometer hanya 3,8 mA (tenaga penuh, 1 kHz *sample rate*).
13. Moda siaga hemat daya hanya mengkonsumsi arus sebesar 5µA
14. Dapat menoleransi guncangan hingga 10000g / 10kg
15. Modul dengan PCB berkualitas dengan *gold immersion welding* untuk menjamin kualitas

16. Akses sangat mudah menggunakan pin standar dengan *pitch* 0,1" / 2,54 mm.

Berikut ini merupakan Gambar 2.6 yaitu diagram modul dari MPU-6050:



Gambar 2.4 Diagram Modul MPU-6050

(sumber : <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/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 [5].

2.3 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah pin digital I/O (14 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (*Hardware serial ports*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *crystal oscillator* 16 Mhz, sebuah *port* USB, ICSP *header*, dan tombol *reset*. *Board* ini sudah sangat lengkap karena memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Berikut ini merupakan Gambar 2.2 Arduino Mega 2650 [6].



Gambar 2.5 Arduino Mega 2560

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

Berikut ini merupakan tabel 2.2 yaitu spesifikasi dari Arduino Mega 2560:

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

| Komponen | Spesifikasi |
|---|--|
| Mikrokontroler | ATmega2560 |
| Tegangan Operasi | 5V |
| Tegangan Input (Direkomendasikan Untuk ATmega 2560) | 7V - 12V |
| Tegangan input | 6V - 20V |
| Pin Digital I/O | 54 buah, 14 diantaranya menyediakan PWM output |
| Pin Input Analog | 16 pin |
| Arus DC pin I/O | 40 mA |
| Arus DC pin 3.3V | 50 mA |
| <i>Memori Flash</i> | 256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader |
| SRAM | 8 KB |
| EEPROM | 4 KB |
| <i>Clock speed</i> | 16 Mhz |
| Dimensi | 101.5 mm x 53.4 mm |
| Berat | 37 g |

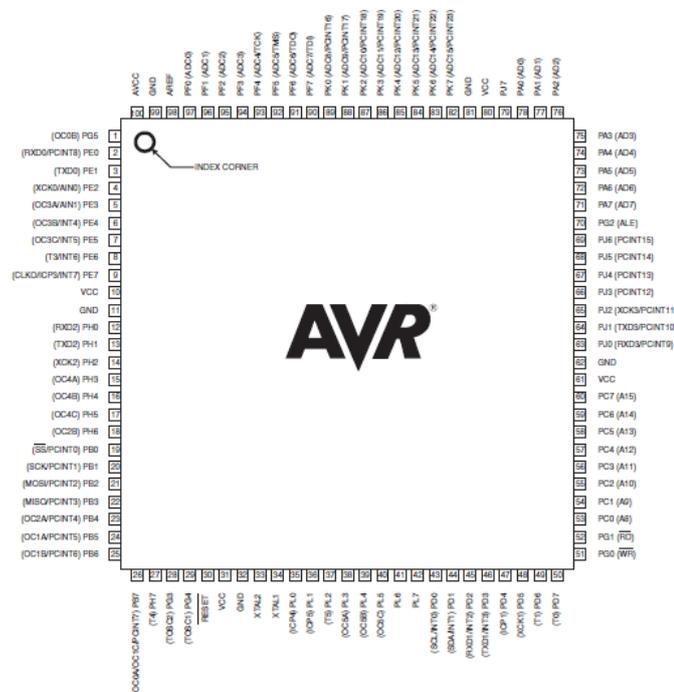
Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan Catu daya Eksternal. Sumber listrik dipilih secara otomatis. Eksternal (*nonUSB*) daya dapat datang baik dari AC-DC adaptor atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan cara menghubungkannya *plug* pusat-positif 2.1 mm ke dalam *board* penghubung listrik. *Lead* dari baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin GND dan Vin dari konektor *Power*.

Board dapat beroperasi pada pasokan daya dari 6-20V. Jika diberikan dengan kurang dari 7V, bagaimanapun pin 5V dapat menyuplai kurang dari 5V dan *board* mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7-12V. Pin catu daya adalah sebagai berikut :

1. VIN. Tegangan input ke papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5V dari koneksi USB atau sumber daya diatur lainnya). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
2. 5V. Catu daya yang diatur digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lain di papan tulis. Hal ini dapat datang baik dari VIN melalui regulator on-board, atau disediakan oleh USB atau suplai 5V diatur lain.
3. 3V3. Sebuah pasokan 3,3V yang dihasilkan oleh regulator *on-board*. Menarik arus maksimum adalah 50 mA.
4. GND. Ground pins.

2.3.1 Konfigurasi Pin Arduino Mega

Konfigurasi pin Arduino mega ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah berikut ini:



Gambar 2.6 Konfigurasi Pin Atmega 2560

(Sumber : Atmel Corporation.2014: 2)

Berikut konfigurasi pin Atmega 2560 :

1. VCC adalah tegangan catu digital
2. GND adalah *Ground*
3. Port A (PA7..PA0)
4. Port B (PB7..PB0)
5. Port C (PC7..PC0)
6. Port D (PD7..PD0)
7. Port E (PE7..PE0)
8. Port F (PF7..PF0)

Jika antarmuka JTAG mengizinkan, *pull-up resistor* pada pin PF7(TDI), PF5(TMS), dan PF4(TCK) akan iaktifkan bahkan jika terjadi reset. Port F juga menyajikan fungsi dari antarmuka JTAG.

9. Port G (PG7..PG0)
10. Port H (PH7..PH0)
11. Port J (PJ7..PJ0)
12. Port K (PK7..PK0)
13. Port L (PL7..PL0)
14. Reset

Input reset. Sebuah level rendah pada pin ini untuk lebih panjang dari pada panjang minimum pulsa akan menghasilkan sebuah reset, bahkan jika waktu tidak berjalan. Pulsa terpendek tidak dijamin menghasilkan sebuah reset .

15. XTAL1

Input ke *inverting amplifier oscillator* dan input ke internal jalur operasi waktu.

16. XTAL2

Keluaran dari *inverting oscillator amplifier*

17. AVCC

AVCC merupakan pin tegangan catu untuk port F dan *A/D Converter*. AVCC dapat terhubung secara eksternal ke VCC, bahkan jika ADC tidak digunakan jika ADC digunakan, ADC akan terhubung ke VCC melalui sebuah *low pass filter*.

18. AREF

AREF adalah pin referensi analog untuk *A/D Converter*.
(Atmel Corporation.2014).

2.4 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo. Motor servo bisa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya [8].

Motor servo adalah salah satu jenis motor DC yang bekerja dengan memutar nilai posisi putar yaitu derajat putar dri posisi $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$. Berbeda dengan motor step, motor servo beroperasi secara *closed loop*. Poros motor dihubungkan dengan rangkaian kendali, sehingga jika putaran poros belum sampai pada posisi yang diperintahkan maka rangkaian kendali akan terus mengoreksi posisi hingga mencapai posisi yang diperintahkan [9]. Tipe motor servo yang digunakan pada robot *humanoid* ini yaitu *Digital Robot Servo MRS-D2009SP*. Berikut ini Gambar 2.8 merupakan motor servo yang digunakan.



Gambar 2.8 *Digital Robot Servo MRS-D2009SP*

(Sumber : <https://minirobot.co.kr/general-education/?lang=en>)

Berikut ini merupakan spesifikasi dari *Digital Robot Servo MRS-D2009SP*:

1. *Interface : Multi-Protocal interface* dan PWM
2. Memiliki *karbonite gear* yang tahan lama
3. *Dual ball bearing*
4. *Rotation range : 180°*
5. *Voltage, current, position data reading function*
6. *Variable type of assembles available*
7. *Torque : 9kg · cm*
8. *Speed : 0.2sec · 60°*
9. *Voltage : 6.0V*
10. *Weight : 45kg*
11. *Dimension : 40 x 24 x 47mm*

Motor servo biasanya hanya bergerak mencapai sudut tertentu saja dan tidak kontinu seperti motor DC maupun motor stepper. Walau demikian, untuk beberapa keperluan tertentu, motor servo dapat dimodifikasi agar bergerak kontinu. Pada robot, motor ini sering digunakan untuk bagian kaki, lengan atau bagianbagian lain yang mempunyai gerakan terbatas dan membutuhkan torsi cukup besar. Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total defleksi sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180° dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. Motor servo standar yang kali ini dipakai memiliki 3 buah kabel yaitu, *power*, *ground* dan *signal*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut ini.

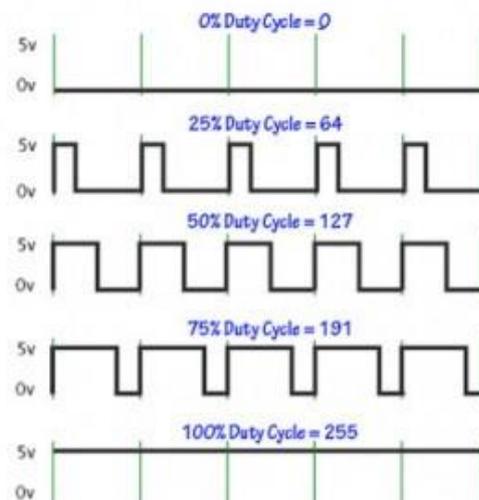


Gambar 2.9 Connector Motor Servo

(Sumber : <https://dronebotworkshop.com/servo-motors-with-arduino/>)

2.5 PWM (*Pulse width Modulation*)[10]

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya. Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%). Berikut ini merupakan Gambar 2.10 *duty cycle* pulsa pada PWM.



Gambar 2.10 *Duty Cycle pulsa PWM*

(Sumber : [http://achamad.staff.ipb.ac.id/wp-content/plugins/as-pdf/andri_mz-Pulse%20Width%20Modulation%20\(PWM\).pdf](http://achamad.staff.ipb.ac.id/wp-content/plugins/as-pdf/andri_mz-Pulse%20Width%20Modulation%20(PWM).pdf))

Berdasarkan gambar diatas menjelaskan bahwa *Pulse Width Modulation (PWM)* atau modulasi lebar pulsa merupakan modulasi pulsa keluaran dengan cara mengatur perbandingan lebar pulsa *high* (logika 1) dan lebar pulsa *low* (logika 0) dalam satu perioda. Persentase perbandingan antara lebar pulsa *high*

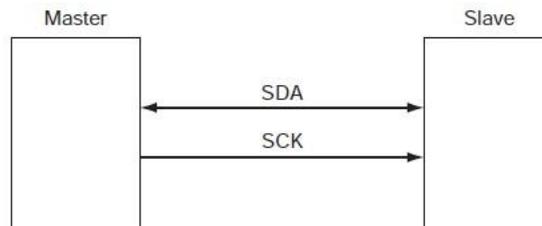
dan pulsa *low* dalam satu periode inilah yang akan mempengaruhi kecepatan motor dan kecerahan lampu jika kita aplikasikan dalam pemrograman .

Operasional motor servo dikendalikan pulsa sebesar ± 20 ms. Apabila motor servo diberikan pulsa dengan besar 1.5 ms mencapai gerakan 90° , maka bila kita berikan pulsa kurang dari 1.5 ms maka posisi mendekati 0° dan bila kita berikan pulsa lebih dari 1.5 ms maka posisi mendekati 180° . Motor servo akan bekerja secara baik jika pada bagian pin kontrolnya diberikan sinyal PWM dengan frekuensi 50Hz. Dimana pada saat sinyal frekuensi 50Hz tersebut dicapai pada kondisi *Ton duty cycle* 1.5 ms, maka rotor dari motor akan berhenti tepat ditengah-tengah (sudut 0° /netral).

2.6 I2C (*Inter-Integrated Circuit*)[11]

Komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) merupakan koneksi dibuat untuk menyediakan komunikasi antara perangkat-perangkat terintegrasi, seperti sensor, RTC, dan juga EEPROM. Komunikasi I2C bersifat *synchronous* namun berbeda dengan SPI karena I2C menggunakan protocol dan hanya menggunakan dua kabel untuk komunikasi, yaitu *Synchronous clock* (SCL) dan *Synchronous data* (SDA). Secara berurutan data dikirim dari master ke slave kemudian (setelah komunikasi master ke slave selesai) dari *slave* ke *master*.

Perangkat I2C menggunakan 2 buah pin *open-drain* dua arah dengan memberikan *pull-up* resistor untuk setiap garis *bus* sehingga berlaku seperti AND menggunakan kabel. AVR dapat menggunakan 120 jenis perangkat untuk berbagi pada *bus* I2C yang masing-masing disebut sebagai *node*. Setiap *node* beroperasi sebagai *master* atau *slave*. Master merupakan perangkat yang menghasilkan *clock* untuk sistem, menginisiasi, dan juga memutuskan sebuah transmisi. *Slave* merupakan *node* yang menerima *clock* dan dialamatkan oleh *master*. Baik *master* dan *slave* dapat menerima dan mentransmisikan data. Berikut ini merupakan aliran data I2C ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Aliran Data I2C

(Sumber:http://www.fisika.ui.ac.id/images/Laboratorium/Lab_Sistem_Tertanam/Modul_Pendamping9_SistemTertanam.pdf)

I2C merupakan protocol komunikasi serial dimana setiap bit data ditransfer pada jalur SDA yang disinkronisasikan dengan pulsa *clock* pada jalur SCL. Jalur data tidak dapat berubah ketika jalur *clock* berada dalam kondisi *high*. Dalam I2C, setiap alamat atau data yang ditransmisikan harus dibentuk dalam sebuah paket dengan panjang 9 bit dimana 8 bit pertama disimpan dalam jalur SDA oleh *transmitter*, dan bit ke-9 merupakan *acknowledge* (atau *not acknowledge*) oleh *receiver*. I2C juga diistilahkan sebagai *Two-wire Serial Interface* (TWI), bergantung dari istilah yang digunakan oleh pabrik yang membuat perangkat. Salah satu perangkat yang digunakan dengan komunikasi I2C adalah *realtime clock* (RTC). Perangkat ini menyediakan komponen jam, menit, dan detik, serta tahun, bulan, dan hari.

2.7 Baterai LiPo[12]

Pada setiap paket baterai LiPo selain tegangan ada label yang disimbolkan dengan S. Disini S berarti sel yang dimiliki sebuah paket baterai (*battery pack*). Sementara bilangan yang berada didepan simbol menandakan jumlah sel dan biasanya berkisar antar 2-6S (meskipun kadang ada yang mencapai 10S). Berikut adalah beberapa contoh notasi baterai LiPo.

- 3.7 volt battery = 1 cell x 3.7 volts
- 7.4 volt battery = 2 cells x 3.7 volts (2S)
- 11.1 volt battery = 3 cells x 3.7 volts (3S)
- 14.8 volt battery = 4 cells x 3.7 volts (4S)
- 18.5 volt battery = 5 cells x 3.7 volts (5S)
- 22.2 volt battery = 6 cells x 3.7 volts (6S)

Sebagai contoh sebuah baterai RC LiPo yang memiliki rating 1000 mAh akan benar-benar habis apabila diberi beban sebesar 1000 miliampere selama 1 jam. Apabila baterai yang sama diberi beban 500 miliampere, maka baterai akan benar-benar habis setelah selama 2 jam. Begitu pun apabila beban ditingkatkan menjadi 15.000 miliampere (15 Amps) maka energi di dalam baterai akah habis terpakai setelah selama 4 menit saja (15 Amp merupakan jumlah beban yang umum digunakan pada RC kelas 400). Seperti yang telah dijelaskan, dengan beban arus yang begitu besar maka merupakan sebuah keuntungan apabila menggunakan baterai dengan kapasitas yang lebih besar (misal 2000 mAh). Dengan begitu maka waktu discharge akan meningkat menjadi 8 menit. Contoh dari baterai LiPo sendiri dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Baterai LiPo 2200mAh

(Sumber: Dokumentasi Penulis)

2.8 UBEC (*Universal Elemination Circuit*) [13]

UBEC adalah rangkaian elektronik eksternal yang berfungsi memberikan daya dari baterai dan berfungsi sebagai regulasi tegangan hingga 5/6 Volt. UBEC digunakan pada *Traerser* dan Bogie karena spesifikasi UBEC yang menghasilkan tegangan output 5/6 VDC yang sesuai kebutuhan pada inputan motor DC, sensor, LCD I2C maupun Instrumentasi lainnya input dan memiliki arus keluaran yang stabil sehingga tidak mudah merusak komponen. Berikut merupakan bentuk dari UBEC ditunjukkan pada Gambar 2.13 dibawah ini.

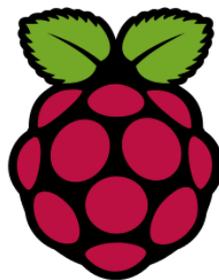


Gambar 2.13 UBEC Dengan Maksimal Arus 8A

(Sumber : www.valuehobby.com/hobbywing-8a-ubec-2s-6s.html)

2.10 Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah sebuah komputer papan tunggal (*single-board computer*) atau SBC berukuran kartu kredit. *Raspberry Pi* telah dilengkapi dengan semua fungsi layaknya sebuah komputer lengkap, menggunakan SoC (*System-on-a-chip*) ARM yang dikemas dan diintegrasikan diatas PCB. Perangkat ini menggunakan kartu SD untuk *booting* dan penyimpanan jangka panjang. (Agfianto:2012). Berikut merupakan Gambar 2.14 yaitu logo dari *raspberry Pi*



Gambar 2. 14 Logo *Raspberry Pi*

(Sumber : <https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2011/10/Raspi-PGB001.png>)

Raspberry Pi memiliki dua model yaitu model A dan model B. Secara umum *Raspberry Pi* Model B, 512MB RAM. Perbedaan model A dan B terletak pada memory yang digunakan, Model A menggunakan memory 256 MB dan model B 512 MB. Selain itu model B juga sudah dilengkapi dengan ethernet port (kartu jaringan) yang tidak terdapat di model A. Desain *Raspberry Pi* didasarkan seputar SoC (System-on-a-chip) Broadcom

BCM2835, yang telah menanamkan prosesor ARM1176JZF-S dengan 700 MHz, VideoCore IV GPU, dan 256 Megabyte RAM (model B). Penyimpanan data didisain tidak untuk menggunakan hard disk atau solid-state drive, melainkan mengandalkan kartu SD (SD memory card) untuk booting dan penyimpanan jangka panjang. Hardware *Raspberry Pi* tidak memiliki real-time clock, sehingga OS harus memanfaatkan timer jaringan server sebagai pengganti. Namun komputer yang mudah dikembangkan ini dapat ditambahkan dengan fungsi *real-time* (seperti DS1307) dan banyak lainnya, melalui saluran GPIO (*General-purpose input/output*) via antarmuka I²C (*Inter- Integrated Circuit*). *Raspberry Pi* bersifat open source (berbasis Linux), *Raspberry Pi* bisa dimodifikasi sesuai kebutuhan penggunanya. Sistem operasi utama *Raspberry Pi* menggunakan Debian GNU/Linux dan bahasa pemrograman *Python*. Salah satu pengembang OS untuk *Raspberry Pi* telah meluncurkan sistem operasi yang dinamai Raspbian, Raspbian diklaim mampu memaksimalkan perangkat *Raspberry Pi*. Sistem operasi tersebut dibuat berbasis Debian yang merupakan salah satu distribusi Linux OS.

2.10.1 *Raspberry Pi 3*

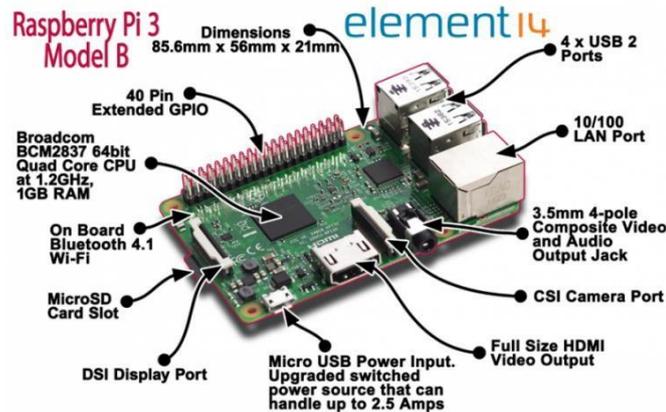
Raspberry Pi 3 merupakan generasi ketiga dari keluarga *Raspberry Pi*. *Raspberry Pi 3* memiliki RAM 1GB dan grafis *Broadcom VideoCore IV* pada frekuensi *clock* yang lebih tinggi dari sebelumnya yang berjalan pada 250MHz. *Raspberry Pi 3* menggantikan *Raspberry Pi 2* model B pada bulan Februari 2016. Kelebihannya dibandingkan dengan *Raspberry Pi 2* adalah:

- A 1.2GHz 64-bit *quad-core* ARMv8 CPU
- 802.11n *Wireless* LAN
- *Bluetooth* 4.1
- *Bluetooth Low Energy* (BLE)

Sama seperti *Pi 2*, *Raspberry Pi 3* juga memiliki 4 USB port, 40 pin GPIO, *Full* HDMI port, Port Ethernet, *Combined* 3.5mm *audio jack and composite video*, *Camera interface* (CSI), *Display interface* (DSI), slot kartu *Micro* SD (Sistem tekan-tarik, berbeda dari yang sebelumnya ditekan-tekan), dan *VideoCore IV 3D graphics core*.

Raspberry Pi 3 memiliki factor bentuk identik dengan *Raspberry Pi 2*

dan memiliki kompatibilitas lengkap dengan *Raspberry Pi* 1 dan 2. *Raspberry Pi* 3 juga direkomendasikan untuk digunakan bagi mereka yang ingin menggunakan *Pi* dalam proyek-proyek yang membutuhkan daya yang sangat rendah. Berikut ini merupakan tampilan dari *Raspberry Pi 3 Model B* ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2. 15 Tampilan *Raspberry Pi 3 Model B*

(Sumber : https://www.element14.com/community/dtss-images/uploads/devtool/diagram/large/Raspberry_Pi_3_Model_B_with_1_GB_of_RAM.png)

2.10.2 GPIO *Raspberry Pi* 3

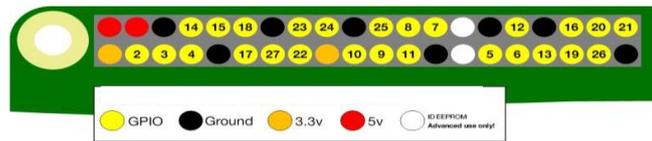
GPIO merupakan sederet pin yang terdiri dari 40 pin dengan berbagai fungsi. Salah satu fitur yang kuat dari *Raspberry Pi* adalah deretan GPIO (tujuan umum input / output) pin di sepanjang tepi atas pin board. These adalah antarmuka fisik antara *Pi* dan dunia luar. Pada tingkat yang paling sederhana, Anda dapat menganggap mereka sebagai switch yang Anda dapat mengaktifkan atau menonaktifkan (input) atau bahwa *Pi* dapat mengaktifkan atau menonaktifkan (output).

Dari 40 pin, 26 pin GPIO dan yang lain adalah pin *power* atau *ground* (ditambah dua pin ID EEPROM yang tidak harus anda gunakan). Anda dapat memprogram pin untuk berinteraksi dengan cara yang menakjubkan dengan dunia nyata. Input tidak harus berasal dari saklar fisik; itu bisa menjadi masukan dari sensor atau sinyal dari komputer lain atau perangkat, misalnya. output juga dapat melakukan apa saja, dari menyalakan LED untuk mengirim sinyal atau

data ke perangkat lain.

Jika Raspberry Pi adalah pada jaringan, Anda dapat mengontrol perangkat yang terhubung padanya dari mana saja (Tidak secara harfiah di mana saja, tentu saja.

Anda perlu hal-hal seperti akses ke jaringan, jaringan yang mampu perangkat komputasi, dan listrik.) dan perangkat-perangkat dapat mengirim data kembali.



Gambar 2.16 *Raspberry Pi* GPIO pin

(Sumber : <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio-plus-and-raspi2/>)

Konektivitas dan kontrol dari perangkat fisik melalui internet adalah hal yang sangat kuat dan menarik, dan Raspberry Pi ideal untuk ini. GPIO Raspberry Pi 3 dapat dilihat pada gambar 2.14. Penjelasan lebih lanjut mengenai fungsi masing-masing PIN GPIO pada *Raspberry Pi* 3 ditunjukkan pada gambar 2,17 berikut ini:

| Raspberry Pi 3 GPIO Header | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Pin# | NAME | | NAME Pin# |
| 01 | 3.3v DC Power | | DC Power 5v 02 |
| 03 | GPIO02 (SDA1 , I ² C) | | DC Power 5v 04 |
| 05 | GPIO03 (SCL1 , I ² C) | | Ground 06 |
| 07 | GPIO04 (GPIO_GCLK) | | (TXD0) GPIO14 08 |
| 09 | Ground | | (RXD0) GPIO15 10 |
| 11 | GPIO17 (GPIO_GEN0) | | (GPIO_GEN1) GPIO18 12 |
| 13 | GPIO27 (GPIO_GEN2) | | Ground 14 |
| 15 | GPIO22 (GPIO_GEN3) | | (GPIO_GEN4) GPIO23 16 |
| 17 | 3.3v DC Power | | (GPIO_GEN5) GPIO24 18 |
| 19 | GPIO10 (SPI_MOSI) | | Ground 20 |
| 21 | GPIO09 (SPI_MISO) | | (GPIO_GEN6) GPIO25 22 |
| 23 | GPIO11 (SPI_CLK) | | (SPI_CE0_N) GPIO08 24 |
| 25 | Ground | | (SPI_CE1_N) GPIO07 26 |
| 27 | ID_SD (I ² C ID EEPROM) | | (I ² C ID EEPROM) ID_SC 28 |
| 29 | GPIO05 | | Ground 30 |
| 31 | GPIO06 | | GPIO12 32 |
| 33 | GPIO13 | | Ground 34 |
| 35 | GPIO19 | | GPIO16 36 |
| 37 | GPIO26 | | GPIO20 38 |
| 39 | Ground | | GPIO21 40 |

Rev. 2
29/10/2016
www.element14.com/RaspberryPi

(Sumber: www.element14.com/RaspberryPi)

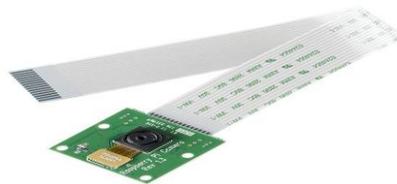
Gambar 2. 17 *Raspberry Pi* 3 Model B GPIO 40 Pin *Block Pinout*

2.11 *Pi Camera*

Pi camera merupakan sebuah modul sensor kamera. *Pi camera* berisi sensor gambar CMOS 5 megapiksel dari OmniVision yang dirancang dengan

arsitektur piksel iluminasi sisi belakang 1,4 mikron, yang menghadirkan fotografi 5 megapiksel, dan rekaman video high-definition (HD) dengan laju bingkai tinggi 720p/60. Modul kamera berantarmuka dengan *Raspberry Pi* melalui konektor kamera yang ada dengan menggunakan CSI untuk data dan I2C untuk kontrol. Ini memungkinkan pengguna untuk merekam 720p dan 1080p dengan laju 30 bingkai per detik dalam format video H264. *Pi camera* sendiri biasanya digunakan untuk keperluan konferensi jarak jauh atau juga sebagai kamera pemantau.

Pi camera adalah sebuah periferal berupa kamera sebagai pengambil *Image/gambar* yang dikendalikan oleh sebuah komputer atau oleh jaringan komputer. Gambar yang diambil oleh *pi camera* ditampilkan ke layar monitor, karena dikendalikan oleh komputer maka ada perangkat atau software yang digunakan untuk menghubungkan *pi camera* dengan komputer atau jaringan. *Pi camera* hampir sama dengan webcam sebagai web pages + Camera, karena dengan menggunakan webcam untuk mengambil gambar video secara aktual bisa langsung di upload bila komputer yang mengendalikan terkoneksi internet, dan *pi camera* juga demikian. *Pi camera* atau webcam sangat bermanfaat dalam bidang telekomunikasi, bidang keamanan, dan bidang industri. Sebagai contoh webcam digunakan untuk video call chatting, surveillience camera, dan juga sebagai video conference oleh beberapa user. Berikut merupakan gambar 2.18 yaitu *Pi camera*



Gambar 2. 18 *Pi Camera*

(Sumber: www.element14.com/RaspberryPi)

2.11.1 Cara Kerja *Pi Camera*

Sebuah *pi camera* yang sederhana terdiri dari sebuah lensa standar, dipasang di sebuah papan sirkuit untuk menangkap sinyal gambar; casing (cover), termasuk casing depan dan casing samping untuk menutupi lensa standar dan memiliki sebuah lubang lensa di casing depan yang berguna untuk memasukkan gambar; kabel support, yang dibuat dari bahan yang fleksibel, salah satu ujungnya dihubungkan dengan papan sirkuit dan ujung satu lagi memiliki connector, kabel

ini dikontrol untuk menyesuaikan ketinggian, arah dan sudut pandang pi camera. Sebuah pi camera biasanya dilengkapi dengan software, software ini mengambil gambar-gambar dari kamera digital secara terus menerus ataupun dalam interval waktu tertentu dan menyiarkannya. Ada beberapa metode penyiaran, metode yang paling umum adalah hardware mengubah gambar ke dalam bentuk file JPG.

Frame rate mengindikasikan jumlah gambar sebuah *software* dapat ambil dan transfer dalam satu detik. Untuk *streaming* video, dibutuhkan minimal 15 *frame per second* (fps) atau idealnya 30 fps. Untuk mendapatkan *frame rate* yang tinggi, dibutuhkan koneksi internet yang tinggi kecepatannya. Sebuah *pi camera* atau *webcam* tidak harus selalu terhubung dengan komputer, ada yang memiliki *software webcam* dan *web server built-in*, sehingga yang diperlukan hanyalah koneksi internet. *Webcam* seperti ini dinamakan “*network camera*”. Kita juga bisa menghindari penggunaan kabel dengan menggunakan hubungan radio, koneksi *Ethernet* ataupun *WiFi*.

2.12 PID Controller

PID Proportional–Integral–Derivative controller merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant [16].

PID Controller sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (Proportional) Controller, D (Derivative) Controller, dan I (Integral) Controller. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai *konstanta*. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, hal ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini [17] :

Tabel 2.1 Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta

| Closed-Loop Response | Rise Time | Overshoot | Settling Time | SS Error |
|----------------------|-----------|-----------|---------------|----------|
| Kp | Decrease | Increase | Small change | Decrease |

| | | | | |
|----|--------------|----------|----------|--------------|
| Ki | Decrease | Increase | Increase | Eliminate |
| Kd | Small change | Decrease | Decrease | Small change |

2.12.1 Kontroler Proporsional (P) [18]

Kp berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya).

Ciri-ciri pengontrol proporsional :

1. Jika nilai Kp kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah rise time).
2. Jika nilai Kp dinaikkan, respon/tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya (mengurangi rise time).
3. Namun jika nilai Kp diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.
4. Nilai Kp dapat diset sedemikian sehingga mengurangi steady state error, tetapi tidak menghilangkannya

2.12.2 Kontroler Integral (I)

Pengontrol Integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol (Error Steady State = 0). Jika sebuah pengontrol tidak memiliki unsur integrator, pengontrol proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon steady-state, namun pemilihan Ki yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan Ki yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde system

Keluaran pengontrol ini merupakan hasil penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan / error.

Ciri-ciri pengontrol integral :

1. Keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
4. Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

2.12.3 Kontroler Derivatif (D)

Keluaran pengontrol diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi step yang besar magnitudenya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan factor konstanta K_d .

Ciri-ciri pengontrol derivatif :

1. Pengontrol tidak dapat menghasilkan keluaran jika tidak ada perubahan pada masukannya (berupa perubahan sinyal kesalahan)

2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai K_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengontrol diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.
4. Dengan meningkatkan nilai K_d , dapat meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi *overshoot*.