

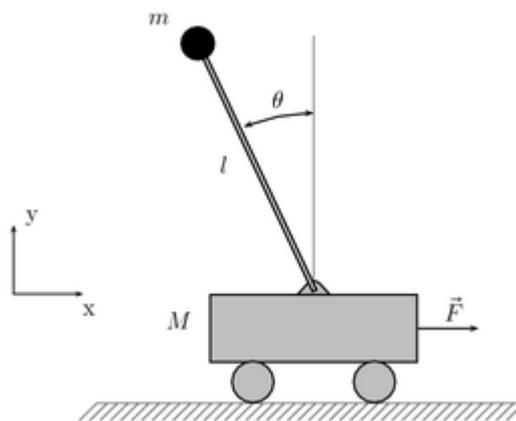
BAB II

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.



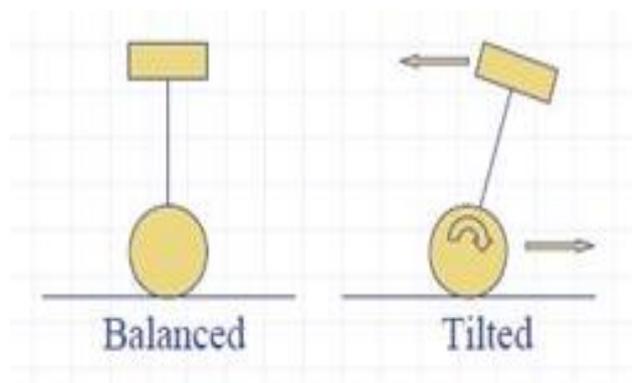
Gambar 2.1 Pendulum Terbalik

(Sumber: 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 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.



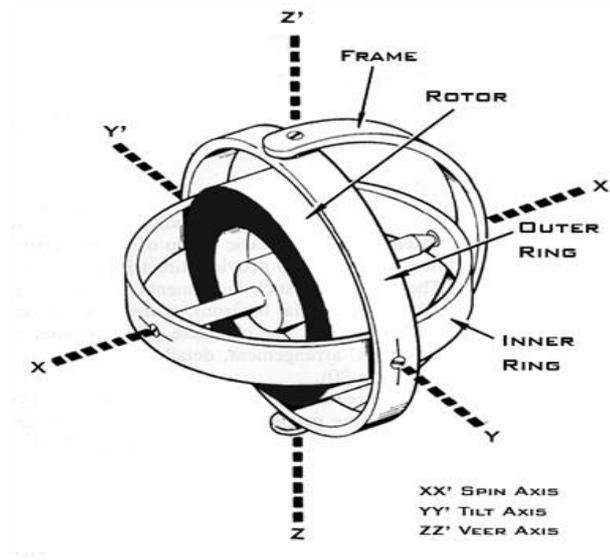
Gambar 2.2 *Balancing Robot Beroda Dua Menyeimbangkan Diri*

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

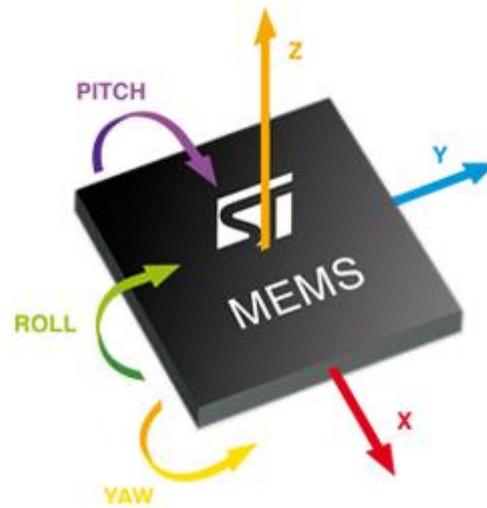


Gambar 2.3 Gyroscope

(Sumber: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 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 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.



Gambar 2.4 Sensor Accelerometer

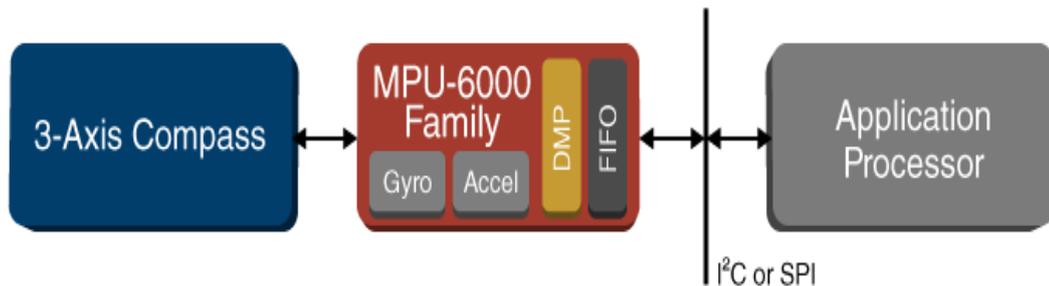
(Sumber: http://www.techenstein.com/wp-content/uploads/2014/08/MEMS-1311953159_450_355.png)

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 horisontal, oleh karena itu *Sensor Accelerometer* ini akan mengukur percepatannya pada waktu itu atau secara langsung ketika percepatan itu bergerak secara horisontal. 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 digunakanya. Sekarang pada saat ini, Hampir semua alat ini berpenampilan Digital.

2.3 Modul MPU 6050 6-Axis Gyroscope & Accelerometer Module

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 2.5 Diagram Blok Modul MPU 6050 Gyroscope dan Accelerometer

(Sumber: <http://www.invensense.com/wp-content/uploads/2014/12/mpu-6000-family-diagram.png>)

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.

Fitur dan Spesifikasi MPU-6050

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-In-First-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. Mode siaga hemat daya hanya mengkonsumsi arus sebesar 5 μ A
14. Dapat mentoleransi guncangan hingga 10000g
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

2.4 Sejarah Arduino

Proyek arduino berawal Dilvre, italia pada tahun 2005. Sekarang telah lebih dari 120.000 unit terjual sampai dengan 2010. Arduino dikembangkan oleh sebuah tim yang beranggotakan orang-orang dari berbagai belahan dunia. Anggota inti dari tim ini adalah:

1. Massimo Banzi Milano, Italy
2. David Cuartielles Malmoe, Sweden



3. Tom Igoe New York, US
4. Gianluca Martino Torino, Italy
5. David A. Mellis Boston, MA, USA.

Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang *open source*, baik untuk *hardware* maupun *software*-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang. Anda bisa bebas *men-download* gambarnya, membeli 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. Kita patut berterima kasih kepada tim Arduino yang sangat dermawan membagi-bagikan kemewahan hasil kerja keras mereka kepada semua orang. Banyak orang yang betul-betul kagum dengan desain *hardware*, Bahasa pemrograman dan IDE Arduino yang berkualitas tinggi dan sangat berkkelas.

Saat ini komunitas Arduino berkembang dengan pesat dan dinamis di berbagai belahan dunia. Berbagai macam kegiatan yang berkaitan dengan proyek-proyek Arduino bermunculan dimana-mana, termasuk Indonesia. Hal-hal yang membuat Arduino dengan cepat diterima oleh orang-orang adalah karena:

1. Murah, dibandingkan *platform* yang lain. Harga sebuah papan Arduino tipe Uno asli buatan Italia Rp 290.000,-.
2. Lintas *platform*, *software* Arduino dapat dijalankan pada system operasi Windows, Macintosh OSX, dan Linux.
3. Sangat mudah dipelajari dan digunakan. *Processing* adalah Bahasa pemrograman yang digunakan untuk menulis program di dalam Arduino. *Processing* yang digunakan adalah pemrograman tingkat tinggi yang dialektanya sangat mirip dengan C++ dan Java.

Secara umum Arduino terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Secara *Software* => *Software* Arduino *Open source* IDE untuk menulis program, *driver* untuk koneksi dengan computer, contoh program dan *library* untuk pengembangan program..
2. Secara *Hardware* => Single board mikrokontroler *input/output* (I/O).



Dari pengertian diatas, dapat disimpulkan bahwa Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output seperti yang diinginkan. Jadi, mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan input, proses ,dan output sebuah rangkaian elektronik.

Mikrokontroler ada pada perangkat elektronik sekeliling kita, misalnya *Handphone*, MP3 Player, DVD, Televisi, AC, dll. Mikrokontroler juga dapat mengendalikan robot. Karena komponen utama Arduino adalah mikrokontroler maka Arduino dapat digunakan sesuai kebutuhan kita.

Arduino memiliki kelebihan dibandingkan dengan perangkat kontroler lainnya diantaranya adalah:

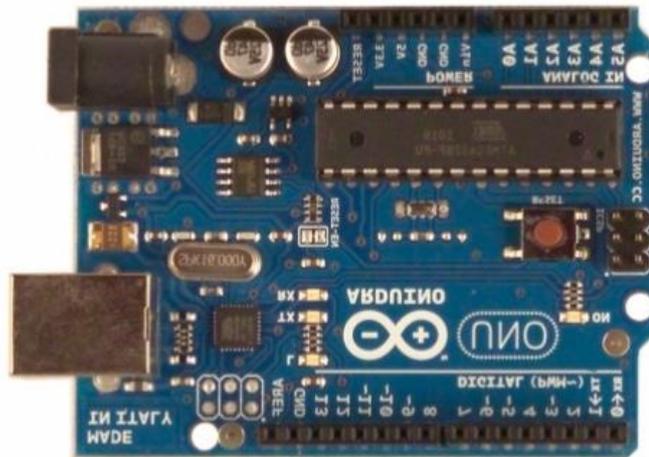
1. Tidak perlu perangkat chip programmer karena didalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani upload program dari Arduino IDE.
2. Sudah memiliki sarana komunikasi USB, Sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
3. Memiliki modul siap pakai (*Shield*) yang bisa ditancapkan pada board arduino. Contohnya *shield GPS, Ethernet*, dll.

Arduino sendiri telah mengeluarkan bermacam-macam produk dan tipe sesuai dengan kebutuhan para perancang elektronik. Macam-macam arduino tersebut diciptakan berdasarkan *skill* dan keahlian para perancang sampai dimana kemahirannya dalam menggunakan perangkat arduino itu sendiri mulai dari segi pemrograman, dari segi elektronik, dan dari segi seberapa luas pengaplikasiannya terhadap perangkat elektronik. Jenis-jenis arduino tersebut, diantaranya adalah :

1. Arduino UNO
2. Arduino MEGA
3. Arduino Yun
4. Arduino Esplora
5. Arduino Lilypad
6. Arduino Promini

7. Arduino Nano
8. Arduino Fio
9. Arduino Due

Dari berbagai macam jenis arduino yang telah dijelaskan, arduino yang paling banyak digunakan adalah Arduino UNO, karena di buat dan dirancang untuk pengguna pemula atau yang baru mengenal yang namanya Arduino.

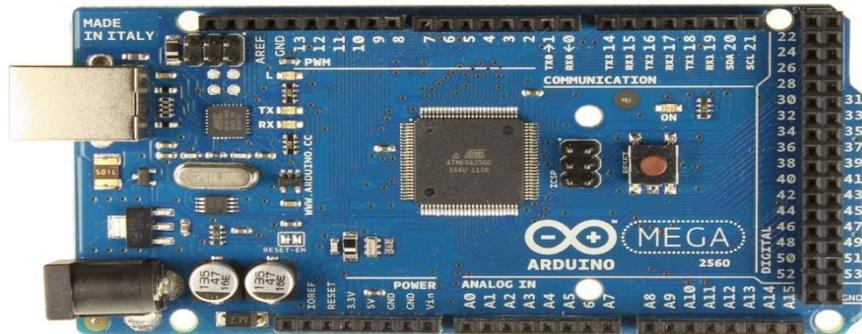


Gambar 2.6 Arduino UNO

(Sumber : arduino.blogspot.com diakses 20 desember 2016 pkl 14.35 wib)

2.5 Arduino mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator* 16 Mhz, sebuah *port* USB, *power jack* DC, ICSP *header*, dan tombol *reset*. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan *power* dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke *jack* DC.



Gambar 2.7 Arduino Mega

(Sumber: <http://ecadio.com/belajar-dan-mengenal-arduino-mega>)

Spesifikasi Arduino Mega 2560

Chip mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via <i>jack</i> DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via <i>jack</i> DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output
Analog Input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori <i>Flash</i>	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock speed</i>	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

Input dan Output (I/O) Pada Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin terbanyak dari semua papan pengembangan Arduino. Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan pull-up sekitar 20-50k ohm (secara *default* dalam posisi *disconnect*). Nilai maximum adalah 40 mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan chip mikrokontroler



Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

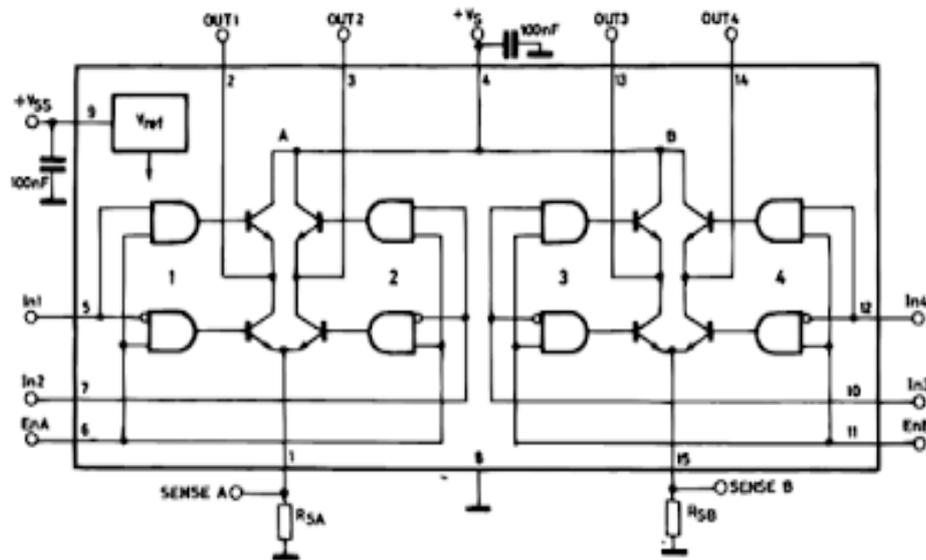
1. **Serial**, memiliki 4 serial yang masing-masing terdiri dari 2 pin. Serial 0 : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Serial 1 : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). Serial 2 : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). Serial 3 : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk *transmit* data serial TTL. Pin 0 dan pin 1 adalah pin yang digunakan oleh chip USB-to-TTL ATmega16U2
2. **External Interrupts**, yaitu pin 2 (untuk *interrupt* 0), pin 3 (*interrupt* 1), pin 18 (*interrupt* 5), pin 19 (*interrupt* 4), pin 20 (*interrupt* 3), dan pin 21 (*interrupt* 2). Dengan demikian Arduino Mega 2560 memiliki jumlah *interrupt* yang cukup melimpah : 6 buah. Gunakan fungsi *attachInterrupt()* untuk mengatur *interrupt* tersebut.
3. **PWM**: Pin 2 hingga 13 dan 44 hingga 46, yang menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi *analogWrite()*
4. **SPI** : Pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), dan 53 (SS) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *SPI Library*
5. **LED** : Pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin no 13. Set *HIGH* untuk menyalakan led, *LOW* untuk memadamkan nya.
6. **TWI** : Pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*

Arduino Mega 2560 R3 memiliki 16 buah input analog. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara *default*, pin-pin tersebut diukur dari ground ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi *analogReference()*. Beberapa input lainnya pada board ini adalah :

1. AREF. Sebagai referensi tegangan untuk input analog.
2. *Reset*. Hubungkan ke *LOW* untuk melakukan reset terhadap mikrokontroler. Sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia.

2.6 Driver motor L298

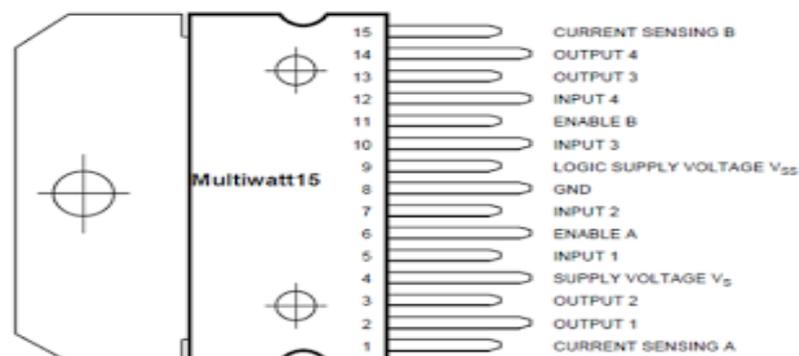
Di dalam IC L298, telah terkandung 2 buah rangkaian H-bridge yang siap digunakan untuk mengendalikan putaran motor .



Gambar 2.8 Diagram blok IC L298

(Sumber: <http://www.robotics-university.com/2015/01/driver-motor-dcmp-menggunakan-ic-l298.html>)

Di dalam data-sheet-nya, IC L298 dapat bekerja dengan tegangan catu hingga 46 volt DC dan memiliki arus (DC) kerja maksimal hingga 4 Ampere. Dengan spesifikasi tersebut, IC L298 sudah dapat digunakan dalam mengendalikan putaran motor dengan arus kerja hingga 4 Ampere. IC L298 memiliki 15 kaki yang memiliki fungsi tersendiri. Konfigurasi kaki-kaki IC L298 dapat kita lihat pada gambar 2.9 berikut ini, sedangkan keterangan fungsi untuk setiap kakinya dapat dilihat pada tabel 2.1.



Gambar 2.9 Konfigurasi pin IC L298

(Sumber: <http://www.robotics-university.com/2015/01/driver-motor-dcmp-menggunakan-ic-l298.html>)



Tabel 2.1. Fungsi kaki/pin IC L298

Pin	Nama Pin	Pin	Nama Pin
1	Current Sensing A	9	Vss (Tegangan Supply IC)
2	Output 1	10	Input 3
3	Output 2	11	Enable B
4	Vs (Tegangan Supply Motor)	12	Input 4
5	Input 1	13	Output 3
6	Enable A	14	Output 4
7	Input 2	15	Current Sensing B
8	GND		

Tabel 2.2. Data karakter elektronis IC L298

Parameter	Simbol	Nilai
Tegangan Supply	Vs	50 V
Tegangan Supply Logic	Vss	7 V
Tegangan Input Enable	Vi, Ven	0,3 – 7 V
Arus Output Puncak (<i>non repetitive</i> , $t = 100\mu\text{s}$)	Io	3 A
Arus Output Puncak (<i>repetitive</i> 80% on, -20% off, $t_{\text{on}} = 10\text{ms}$)	Io	2,5 A
Arus Output Puncak (DC operation)	io	2 A
Tegangan Sensing ($T_{\text{case}} = 75^\circ\text{C}$)	Vsens	-1 – 2,3 V
Total Disipasi Daya	Ptot	25 W
Suhu Operasi (<i>Junction</i>)	Top	-25 - 130°C
Suhu Storage & Junction	Tstg, Tj	-40 – 150°C

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, dll. 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-unidirectional*.

2.7.1 Jenis-Jenis Motor DC

2.7.1.1 Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited*

Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah / *separately excited*.

2.7.1.2 Motor DC sumber daya sendiri/ *Self Excited* : motor shunt

Pada motor shunt, gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan kumparan motor DC (A) seperti diperlihatkan dalam gambar dibawah. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus kumparan motor DC.

Berikut tentang kecepatan motor shunt (E.T.E., 1997):

1. Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga *torque* tertentu setelah kecepatannya berkurang, dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.
2. Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan kumparan motor DC (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

2.7.1.3 Motor DC daya sendiri : motor seri

Dalam motor seri, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara seri dengan gulungan kumparan motor DC (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus kumparan motor DC. Berikut tentang kecepatan motor seri (*Rodwell International Corporation, 1997; L.M. Photonics Ltd, 2002*) :

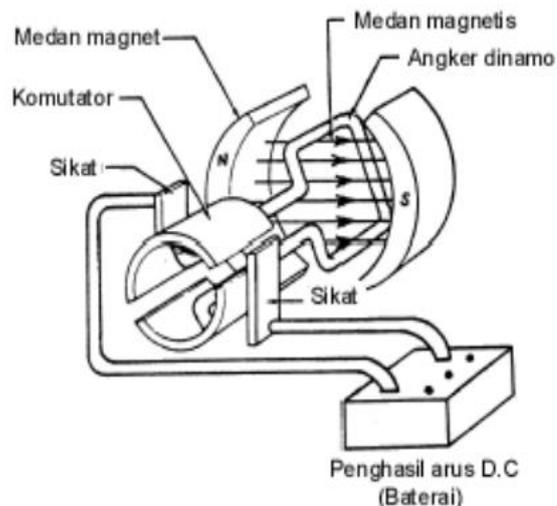
1. Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM
2. Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan torque penyalan awal yang tinggi.

2.7.1.4 Motor DC Kompon/Gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan kumparan motor DC (A). Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula *torque* penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh, penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat hoist dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok (*myElectrical*, 2005).

2.7.2 Komponen Utama Motor DC



Gambar 2.10 Kontruksi Motor DC

(Sumber: <https://arifsh2009.wordpress.com/2014/11/02/generator-dan-motor-dc>)



2.7.2.1 Kutub medan magnet

Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan kumparan motor DC yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

2.7.2.2 Kumparan motor DC

Bila arus masuk menuju kumparan motor DC, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. kumparan motor DC yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, kumparan motor DC berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan kumparan motor DC.

2.7.2.3 Komutator Motor DC

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam kumparan motor DC. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara kumparan motor DC dan sumber daya.

2.7.3. 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.

2.8 *Battery*

Baterai (*Battery*) adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat elektronik. Hampir semua perangkat elektronik yang portabel seperti *Handphone*, Laptop, Senter, ataupun *Remote Control* menggunakan Baterai sebagai sumber listriknya. Dengan adanya Baterai, kita tidak perlu menyambungkan kabel listrik untuk dapat mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Dalam kehidupan kita sehari-hari, kita dapat menemui dua jenis Baterai yaitu Baterai yang hanya dapat dipakai sekali saja (*Single Use*) dan Baterai yang dapat di isi ulang (*Rechargeable*).



Gambar 2.11 Battery

(<http://www.hobbypartz.com/83p-800mah-2s1p-74-15c.html>)

2.8.1. Jenis-jenis *Battery*

Setiap Baterai terdiri dari Terminal Positif (*Katoda*) dan Terminal Negatif (*Anoda*) serta Elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output Arus Listrik dari Baterai adalah Arus Searah atau disebut juga dengan Arus DC (*Direct Current*). Pada umumnya, Baterai terdiri dari 2 Jenis utama yakni Baterai Primer yang hanya dapat sekali pakai (*single use battery*) dan Baterai Sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*).

2.8.1.1 *Battery Primer (Baterai Sekali Pakai/Single use)*

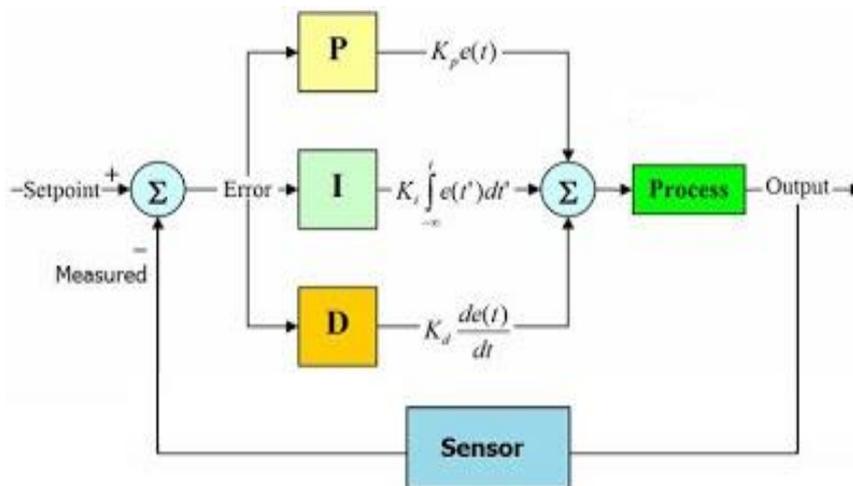
Baterai Primer atau Baterai sekali pakai ini merupakan baterai yang paling sering ditemukan di pasaran, hampir semua toko dan supermarket menjualnya. Hal ini dikarenakan penggunaannya yang luas dengan harga yang lebih terjangkau. Baterai jenis ini pada umumnya memberikan tegangan 1,5 Volt dan terdiri dari berbagai jenis ukuran seperti AAA (sangat kecil), AA (kecil) dan C (*medium*) dan D (besar). Disamping itu, terdapat juga Baterai Primer (sekali pakai) yang berbentuk kotak dengan tegangan 6 Volt ataupun 9 Volt.

2.8.1.2 Baterai Sekunder (Baterai Isi Ulang/Rechargeable)

Baterai Sekunder adalah jenis baterai yang dapat di isi ulang atau Rechargeable Battery. Pada prinsipnya, cara Baterai Sekunder menghasilkan arus listrik adalah sama dengan Baterai Primer. Hanya saja, Reaksi Kimia pada Baterai Sekunder ini dapat berbalik (*Reversible*). Pada saat Baterai digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal Baterai (*discharge*), Elektron akan mengalir dari Negatif ke Positif. Sedangkan pada saat Sumber Energi Luar (*Charger*) dihubungkan ke Baterai Sekunder, elektron akan mengalir dari Positif ke Negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai. Jenis-jenis Baterai yang dapat di isi ulang yang sering kita temukan antara lain seperti Baterai Ni-cd (*Nickel-Cadmium*), Ni-MH (*Nickel-Metal Hydride*) dan Li-Ion (*Lithium-Ion*).

2.9 Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID)

PID (*Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut.



Gambar 2.12 Blok Diagram kontrol PID

(<http://www.gunook.com/arduino-pid-library-helligkeitsregelung/>)

Adapun persamaan Pengontrol PID adalah :

$$mv(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$



Keterangan :

$mv(t)$ = output dari pengontrol PID atau *Manipulated Variable*

Kp = konstanta Proporsional

Ki = konstanta Integral

Kd = konstanta Derivatif

$e(t)$ = error (selisih antara set point dengan level aktual)

2.9.1 PID Digital

Istilah PID digital pada dasarnya mengacu pada jenis perangkat keras digital dimana sistem kontrol PID tersebut ditanamkan. Berbeda dengan kontrol PID analog yang realisasi praktisnya dijumpai dalam bentuk perangkat keras rangkaian elektronika, sistem PID digital implementasinya dapat dijumpai dalam bentuk persamaan matematis yang ditanam pada sistem mikroprosesor. Dibandingkan PID analog, PID digital memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah

1. Dapat diintegrasikan secara mudah dengan sistem lain membentuk sebuah jaringan kontrol
2. Banyak fungsi dan fitur tambahan yang tidak dapat ditemukan dalam modul PID analog. Seperti *anti windup* dan *bumpless transfer*
3. Kepresisian sinyal kontrol tidak tergantung komponen yang digunakan

Berbeda dengan kontrol PID analog yang pengolahannya bersifat kontinyu, pengolahan sinyal kontrol oleh modul digital dilakukan hanya pada waktu diskrit di dalam sistem mikroprosesor. Dalam hal ini, konversi sinyal dari analog ke digital, pengolahan sinyal error, sampai konversi balik digital ke analog dilakukan pada interval atau waktu sampling tertentu (T_s). Salah satu langkah termudah untuk mendapatkan versi diskret dari kontrol PID digital adalah dengan cara diskretisasi persamaan PID analog asosiasinya. Ketelitian PID digital yang di dapat dari diskretisasi ini sangat tergantung dari lebar waktu sampling yang digunakan.

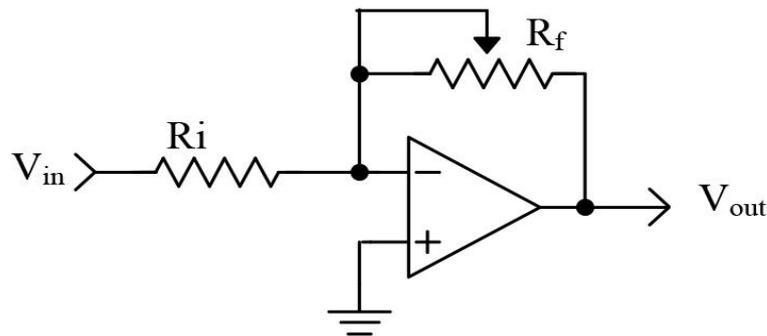
Dalam bentuk pseudocode persamaan kontroler PID seperti kode berikut:

```
previous_error = 0
integral = 0
start:
error = setpoint - actual_position
integral = integral + (error*dt)
```

```
derivative = (error - previous_error)/dt  
output=(Kp*error)+(Ki*integral)+(Kd*derivative)  
previous_error = error  
wait(t)  
goto start
```

2.9.2. Kontrol Proporsional

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).



Gambar 2.13 Rangkaian Kontroler Proporsional

(Sumber : http://www.nutsvolts.com/magazine/article/the_pid_controller_part_1)

Dalam rangkaian op-amp ini, gain ditentukan oleh nilai resistor. Kontrol proporsional memiliki persamaan matematis berikut ini:

$$V_{out} = -V_{in} * R_f / R_i$$

Dimana

$$K_P = \frac{R_f}{R_I}$$

Ciri-ciri pengontrol proporsional :

1. Jika nilai K_p kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah *rise time*).

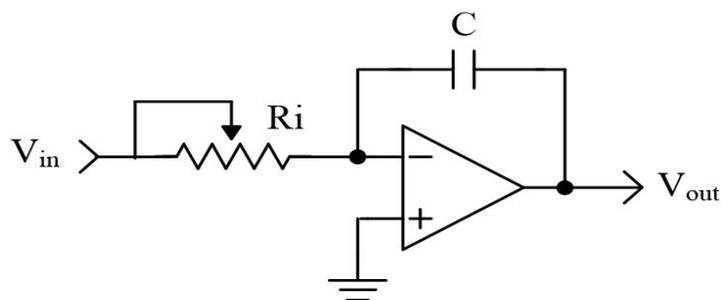
2. Jika nilai K_p dinaikkan, respon/tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya (mengurangi *rise time*).
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.
4. Nilai K_p dapat diset sedemikian sehingga mengurangi *error steady state*, tetapi tidak menghilangkannya.

2.9.3. Kontrol Integratif

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 K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i 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*.



Gambar 2.14 Rangkaian Kontroler Integral

(Sumber : http://www.nutsvolts.com/magazine/article/the_pid_controller_part_1)



Tegangan output kontrol Integral dijelaskan secara matematis dengan persamaan berikut:

$$V_o = - \frac{1}{R_i C} \int V_{in} \cdot dt + C$$

Dimana

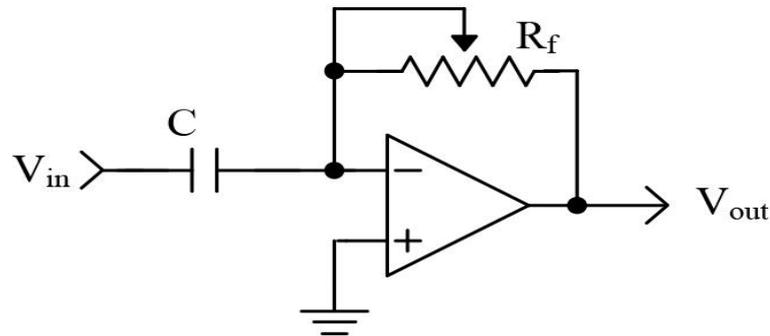
$$K_I = \frac{1}{R_i C}$$

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.

2.9.4. Kontrol Derivatif

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. Kontrol Derivative hanya berubah saat ada perubahan error sehingga saat *error* statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler Derivative tidak dapat dipakai sendiri.



Gambar 2.15 Rangkaian Kontrol Derivatif

(Sumber : http://www.nutsvolts.com/magazine/article/the_pid_controller_part_1)
Tegangan output kontrol Derivatif dijelaskan secara matematis dengan persamaan berikut:

$$V_o = -R_f C \cdot \frac{dV_{in}}{dt}$$

Dimana

$$K_D = R_f C$$

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*.

Berdasarkan karakteristik pengontrol ini, pengontrol diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja pengontrol diferensial hanyalah efektif



pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu pengontrol diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya.

Tabel 2.3 Efek pengontrol Proporsional, Integral dan Derivatif pada sistem loop tertutup

Respon Lup Tertutup	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Error Steady State
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Menurunkan/Mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Mengeliminasi
Derivatif	Perubahan Kecil	menurunkan	Menurunkan	Perubahan Kecil

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol proporsional plus integral plus diferensial (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan :

1. mempercepat reaksi sebuah sistem mencapai *set point*-nya
2. menghilangkan *offset*
3. menghasilkan perubahan awal yang besar dan mengurangi *overshoot*.

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , K_i dan K_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan. Sistem pengendalian dibutuhkan untuk memperbaiki tanggapan sistem dinamik agar didapat sinyal keluaran seperti yang diinginkan. Sistem kendali yang baik mempunyai tanggapan yang baik terhadap sinyal masukan yang beragam.