

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Jenis – Jenis Motor DC

Motor DC merupakan jenis motor yang paling sering digunakan di dalam dunia robotika. Salah satu alasannya adalah arah putaran motor DC, baik searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam, dapat dengan mudah dikendalikan. Motor DC terdiri dari beberapa jenis. 3 (tiga) di antaranya adalah: *stepper*, *servo*, dan DC biasa.

2.1.1 Motor *Stepper*

Motor *stepper* adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali motor *stepper* yang membangkitkan pulsa - pulsa periodik. Penggunaan motor *stepper* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan motor DC lainnya. Keunggulannya antara lain adalah:

- Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.
- Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
- Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
- Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop, dan berbalik (perputaran).
- Sangat realibel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC biasa.

- Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
- Frekuensi putaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada *range* yang luas.

Selain itu, motor *stepper* juga memiliki kelemahan, yaitu:

- Tidak adanya umpan balik untuk mengetahui terjadinya selisih *step*.
- Menghasilkan suara yang sangat berisik saat beroperasi.
- Torsi berkurang secara drastis seiring dengan bertambahnya kecepatan.
- Daya yang dihasilkan tidak sebanding dengan ukuran dan berat motor.
- Resolusi dan akurasi dapat diubah dengan mengganti motor *stepper* secara keseluruhan.
- Penggunaan arus listrik tidak sebanding dengan beban yang diberikan.



Gambar 2.1: Motor *Stepper*

Sumber: <http://ex4.netfast.org/site/>

2.1.2 Motor Servo

Motor *servo* adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi rotor-nya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor *servo*. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran *servo*. Sedangkan sudut dari sumbu motor *servo* diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Keunggulan dari penggunaan motor *servo* adalah:

- Tidak bergetar dan tidak ber-resonansi saat beroperasi.
- Daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor.
- Penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan.
- Resolusi dan akurasi dapat diubah dengan hanya mengganti *encoder* yang dipakai.
- Tidak berisik saat beroperasi dengan kecepatan tinggi.

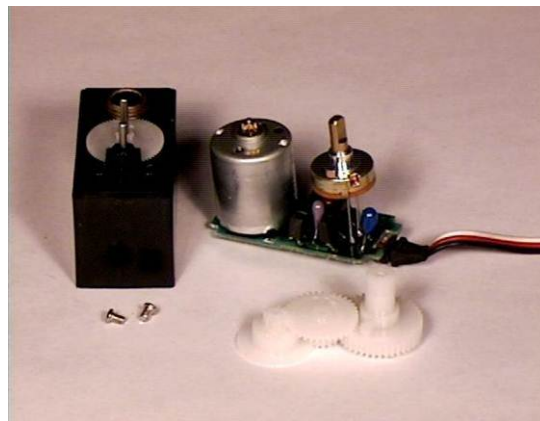
Selain itu, motor *servo* juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

- Memerlukan pengaturan yang tepat untuk menstabilkan umpan balik.
- Motor menjadi tidak terkendali jika *encoder* tidak memberikan umpan balik.
- Beban berlebih dalam waktu yang lama dapat merusak motor.



Gambar 2.2: Motor Servo

Sumber: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/servo-tutorial.html>

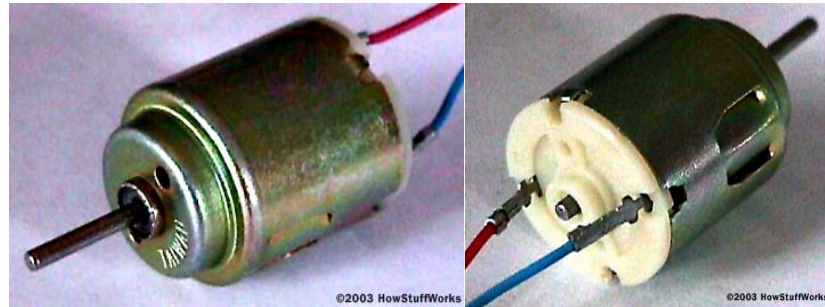


Gambar 2.3: Komponen Motor Servo

Sumber: <http://eyetap.org/ece385/lab3.htm>

2.1.3 Motor DC Biasa

Motor DC biasa atau sering disebut sebagai motor DC “mainan” merupakan jenis motor DC yang paling sederhana pengoperasiannya. Cukup dengan memberikan tegangan pada kedua terminalnya, maka motor DC tersebut akan berputar. Jenis motor DC ini sering ditemui pada benda yang hanya sekedar bergerak dan tidak memerlukan pengendalian baik kecepatan maupun posisi.



Gambar 2.4: Motor DC Biasa

Sumber: <http://electronics.howstuffworks.com/motor2.htm>



Gambar 2.5: Komponen Utama Motor DC Biasa

Sumber: <http://electronics.howstuffworks.com/motor2.htm>

2.2 *Brushed* DC Motor

Motor DC dengan sikat karbon (*brushed* DC motor) merupakan rancangan awal sebuah motor listrik. Hingga saat ini, *brushed* DC motor adalah pilihan utama untuk motor yang memiliki torsi dan kecepatan yang mudah dikendalikan. Keuntungan menggunakan *brushed* DC motor adalah:

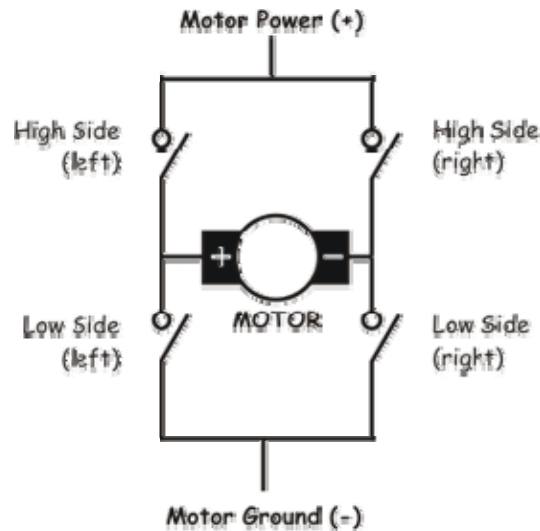
- Kecepatan putar mudah dikendalikan,
Semakin besar tegangan yang diberikan, maka akan semakin cepat putarannya.
Semakin kecil tegangan yang diberikan, maka akan semakin lambat putarannya.
Dengan kata lain, kecepatan putar berbanding lurus dengan besarnya tegangan.
- Torsi mudah dikendalikan,
Semakin besar arus listrik yang disediakan, maka akan semakin kuat torsiya.
Semakin kecil arus listrik yang disediakan, maka akan semakin lemah torsiya.
Dengan kata lain, torsi berbanding lurus dengan besarnya arus listrik.

Kelemahan utama dari *brushed* DC motor adalah penggantian sikat karbon di dalamnya harus dilakukan secara berkala dan diberi pelumasan yang cukup agar tetap memiliki kinerja yang baik.

2.3 H-Bridge

Arah putaran motor DC dapat diubah dengan membalikkan tegangan yang diberikan pada kutub – kutubnya. Misalnya, pada terminal (+) motor dihubungkan dengan kutub (+) catu daya dan pada terminal (-) motor dihubungkan dengan kutub (-) catu daya, maka motor akan berputar searah jarum jam. Sedangkan bila pada terminal (+) motor dihubungkan dengan kutub (-) catu daya dan pada terminal (-) motor dihubungkan dengan kutub (+) catu daya, maka motor akan berputar berlawanan arah jarum jam.

Dalam dunia robotika, pertukaran kutub catu daya terhadap terminal motor tidak bisa dilakukan secara manual. Maka dari itu, diperlukan suatu alat yang dapat menukar kutub catu daya terhadap terminal motor secara otomatis.



Gambar 2.6: Skema Sederhana H-Bridge

Sumber: <http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/tutorial/h-bridge/index.html>

H-bridge merupakan 4 (empat) buah saklar yang disusun membentuk huruf “H” seperti pada Gambar 2.6 untuk mengubah arus listrik yang mengalir melalui motor guna mengubah arah putarannya. Pengoperasian dari H-bridge dapat ditunjukkan tabel berikut:

HSL	HSR	LSL	LSR	Action
On	Off	Off	On	Motor goes Clockwise
Off	On	On	Off	Motor goes Counter-clockwise
On	On	Off	Off	Motor “brakes” and decelerates
Off	Off	On	On	Motor “brakes” and decelerates

Tabel 2.1: Pengoperasian H-bridge

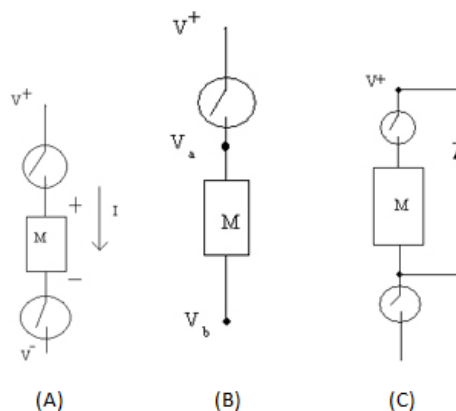
Saklar yang digunakan untuk membuat *H-bridge* bisa berupa:

- 4 (empat) buah SPST *switches*,
- 1 (satu) buah DPDT *switch*,
- 4 (empat) buah *relay*,
- 4 (empat) buah transistor, atau
- 4 (empat) buah FET.

SPST dan DPDT *switch* dikendalikan secara manual. Sedangkan *relay*, transistor, dan FET dikendalikan melalui *logic* yang dihasilkan oleh mikrokontroler.

2.3.1 *Flyback Diode*

Pengendalian aktuator berupa beban induktif, seperti motor, secara *fast-switching* memerlukan komponen tambahan untuk mencegah terjadinya “lompatan” tegangan yang dapat mengakibatkan *switch* terbakar. Komponen tersebut dinamakan *flyback diode*.



Gambar 2.7: Penempatan *Flyback Diode*

Sumber: http://mechatronics.mech.northwestern.edu/design_ref/actuators/hbridge_circuitry.html

Gambar 2.7 (A) menunjukkan arus listrik mengalir melalui kumparan motor. Ketika saklar terbuka secara tiba – tiba dan arus listrik berubah menjadi 0 (nol) secara

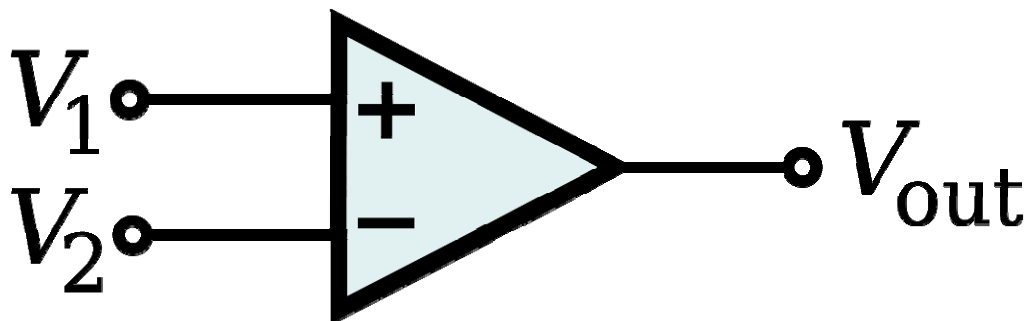
mendadak ($0 < t < 1$) seperti pada Gambar 2.7 (B), maka nilai $\frac{dI}{dt}$ akan menjadi sangat

besar. Karena motor merupakan induktor, maka berlaku $V = L \frac{dI}{dt}$ yang akan membuat tegangan pada motor menjadi sangat besar. Jika tegangan V_b lebih besar daripada tegangan V_a , maka akan terjadi lompatan tegangan melalui saklar yang bisa membuatnya *overload*. *Flyback diode* berfungsi untuk mengalihkan tegangan listrik yang masih tersimpan di dalam kumparan motor ke catu daya untuk mencegah terjadinya “lompatan” tegangan yang melewati saklar seperti pada Gambar 2.7 (C).

2.4 Voltage Comparator

Voltage comparator merupakan salah satu aplikasi rangkaian op-amp yang membandingkan 2 (dua) buah tegangan untuk menghasilkan suatu nilai *logic “HIGH”* atau “LOW”.

Prinsip kerja dari *voltage comparator* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.8: Gambar Sederhana *Voltage Comparator*

Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/Comparator>

Misalnya V_1 adalah tegangan referensi sebesar 3v dan V_2 adalah tegangan yang akan dibandingkan dengan referensi. Op-amp dihubungkan dengan $V_{cc} = 5v$ dan $V_{dd} = 0$ (*ground*). Jika V_2 bernilai 2v, maka V_{out} yang akan dihasilkan adalah 5v (V_{cc}) karena $V_1 > V_2$. Dan jika V_2 bernilai 4v, maka V_{out} adalah 0v (V_{dd}) karena $V_1 < V_2$. Jadi, *voltage comparator* akan mengeluarkan tegangan V_{cc} pada V_{out} jika tegangan input pada terminal (+) lebih besar daripada tegangan input pada terminal (-) dan akan mengeluarkan tegangan V_{dd} pada V_{out} jika tegangan input pada terminal (-) lebih besar daripada tegangan input pada terminal (+).

2.5 *Shaft Encoder*

Encoder merupakan sebuah perangkat yang mengubah putaran menjadi sekumpulan sinyal digital yang berurutan. Posisi dari benda yang berputar dapat diketahui dengan menghitung jumlah pulsa yang dihasilkan. *Shaft encoder* merupakan *encoder* yang dipasang pada poros dari sebuah motor.

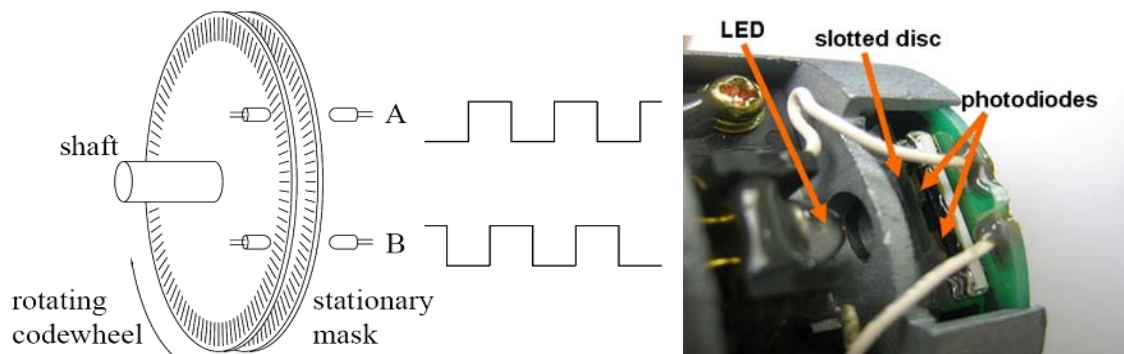


Gambar 2.9: *Shaft Encoder*

Sumber: http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder

Prinsip kerja dari sebuah *encoder* adalah dengan membaca pancaran sinar melalui piringan bening, yang telah diberi garis “terang” dan “gelap” pada bagian tepinya, oleh detektor. Bila detektor tidak menerima pancaran sinar, maka sinyal “*LOW*” yang dihasilkan. Bila detektor menerima pancaran sinar, maka sinyal “*HIGH*” yang dihasilkan.

Secara umum, *encoder* memiliki 2 buah detektor, A dan B, yang diletakkan sedemikian rupa sehingga sinyal yang dihasilkan oleh kedua detektor tersebut memiliki selisih sebesar 90 derajat.

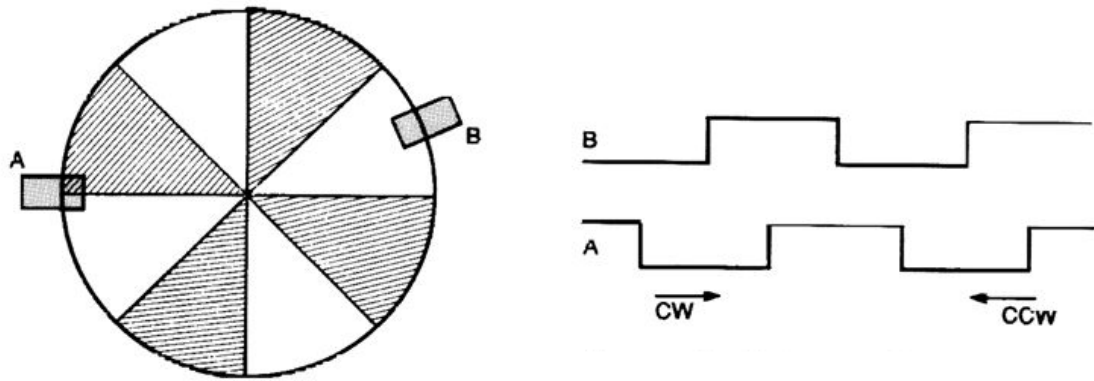


Gambar 2.10: Diagram Sederhana *Shaft Encoder*

Sumber: http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder

2.5.1 *Incremental Encoder*

Incremental encoder merupakan konfigurasi *encoder* yang paling sederhana karena hanya terdiri dari 2 *channel*, A dan B, dan menghasilkan sinyal yang dapat diolah menjadi nilai yang selalu naik atau turun. Sinyal yang dihasilkan oleh *incremental encoder* juga dapat digunakan untuk mengetahui arah putaran dari motor.



Gambar 2.11: Prinsip Pengenalan Arah Putaran

Sumber: http://www.seekic.com/forum/22_Circuit_Diagram/22980_shaft_encoder.html

Untuk mengetahui arah putaran motor, ada 3 parameter yang harus diperhatikan dari sinyal yang dikeluarkan, yaitu:

- A_{last} : Sinyal dari *channel* A sebelum mengalami transisi.
- $A_{current}$: Sinyal dari *channel* A sesudah mengalami transisi.
- B : Sinyal dari *channel* B saat / sesudah mengalami transisi.

Untuk arah putaran motor CW (*clockwise* / searah jarum jam), maka parameter yang terjadi adalah:

- $A_{last} = HIGH$
- $A_{current} = LOW$
- B = *HIGH*

Untuk arah putaran motor CCW (*counter-clockwise* / berlawanan arah jarum jam), maka parameter yang terjadi adalah:

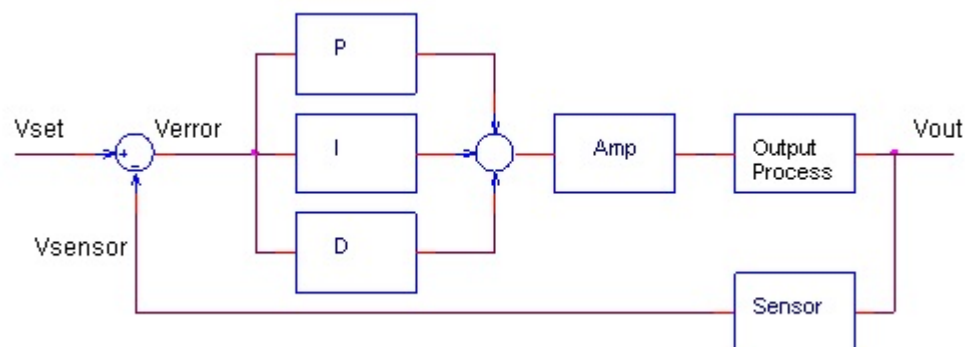
- $A_{last} = HIGH$

- $A_{current} = LOW$
- $B = LOW$

Dengan mengetahui arah putaran motor melalui pembacaan sinyal *encoder*, maka dapat ditentukan suatu nilai posisi harus dinaikkan dan diturunkan. Misalnya, nilai posisi akan selalu naik bila poros motor berputar searah jarum jam (CW) dan akan selalu turun bila poros motor berputar berlawanan arah jarum jam (CCW).

2.6 Sistem Kendali Lup Tertutup

Sistem pengaturan lup tertutup merupakan sistem pengaturan di mana sinyal keluaran mempunyai pengaruh langsung terhadap sinyal kontrol (aksi kontrol). Pada sistem pengaturan lup tertutup terdapat jaringan umpan balik (*feedback*). Karenanya sistem pengaturan lup tertutup seringkali disebut sebagai sistem pengaturan umpan balik. Praktisnya, istilah pengaturan lup tertutup dan sistem pengaturan umpan balik dapat saling dipertukarkan penggunaannya.



Gambar 2.12: Blok Diagram Sistem Pengendalian Lup Tertutup

Representasi diagram blok dari sistem pengaturan lup tertutup adalah sebagai berikut:

Pada sistem pengaturan lup tertutup, sinyal keluaran dari *Output Process* atau sinyal keluaran terukur dari elemen ukur (biasanya sensor atau transduser) di-umpan-balik-kan untuk dibandingkan dengan *set-point* (V_{set}). Perbedaan antara sinyal keluaran dan *set-point* yaitu sinyal kesalahan atau *Verror*, disajikan ke kontroler (PID) sedemikian rupa untuk mengurangi kesalahan dan membawa keluaran sistem ke nilai yang dikehendaki. Jadi, pada sistem pengaturan lup tertutup, keluaran sistem digunakan untuk menentukan sinyal masukan ke *Output Process*.

2.6.1 Discrete PID¹

Discrete PID controller merupakan pendekatan dari persamaan PID analog yang diimplementasikan pada perangkat digital. Berikut ini adalah proses penurunannya dari persamaan PID analog ideal:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \text{ dengan } e(t) = SP - PV.$$

Untuk mengubahnya menjadi diskrit, diperlukan pendekatan pada bagian integral dan *derivative* agar dapat dihitung oleh komputer.

$$\int_0^t e(t) dt \approx T_s \sum_0^t e(i)$$

dan

¹ Tham, M. (1998). *Discretised PID Controllers*. <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/digicont/digimath/dpid1.htm>

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(t) - e(t-1)}{T_s}$$

menjadi:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p T_s}{T_i} \sum_0^t e(i) + \frac{K_p T_d (e(t) - e(t-1))}{T_s} \text{ dengan } e(t) = SP - PV$$

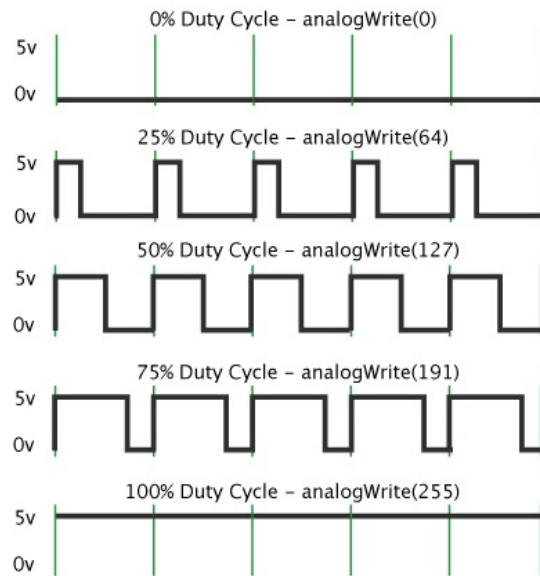
atau disederhanakan menjadi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \sum_0^t e(i) + K_d (e(t) - e(t-1)) \text{ dengan } e(t) = SP - PV$$

Dengan menggunakan persamaan PID diskrit di atas, maka nilai PWM dapat ditentukan untuk mengatur putaran dari motor DC.

2.7 *Pulse Width Modulation (PWM)*

Pulse width modulation atau PWM merupakan teknik menghasilkan nilai analog secara digital selain “LOW” dan “HIGH”. Dalam PWM, dikenal istilah *Duty Cycle* yang artinya adalah persentasi sinyal “HIGH” terhadap sinyal “LOW” dalam satu *clock cycle*.



Gambar 2.13: *Pulse Width Modulation (PWM)*

Sumber: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>

Gambar 2.13 menggambarkan penggunaan *Duty Cycle* yang berbeda untuk menghasilkan nilai analog secara digital. Jika *Duty Cycle* = 0%, artinya nilai analog

yang dihasilkan adalah $\frac{0}{100} \times 5v = 0v$. Jika *Duty Cycle* = 25%, artinya nilai analog

yang dihasilkan adalah $\frac{25}{100} \times 5v = 1,25v$.

2.8 Mikrokontroler

Secara singkat, mikrokontroler adalah komputer. Berbeda dengan komputer besar yang multifungsi seperti *desktop* dan *laptop*, mikrokontroler hanya berfungsi untuk menjalankan “tugas” tertentu dan ditanam di dalam sebuah benda lain seperti mesin cuci, mesin jahit, MP3 *player*, telepon genggam, dan perangkat lainnya yang hanya memiliki fungsi spesifik.



Gambar 2.14: Mikrokontroler ATMEGA168-20PU

Sumber: http://store.fundamentallogic.com/ecom/index.php?main_page=product_info&products_id=16

Sesuai dengan nama-nya, mikrokontroler memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga hanya membutuhkan daya yang kecil untuk mengoperasikannya. Mikrokontroler terdiri dari berbagai jenis dan tipe, diantaranya adalah ATMEGA168-20PU keluaran Atmel dengan spesifikasi utama sebagai berikut:

<i>Processor</i>	8-bit 20MHz (<i>max.</i>)
<i>Flash memory size</i>	16K
<i>EEPROM size</i>	512 bytes
<i>PWM channel</i>	6
<i>External interrupt</i>	2
<i>PC interrupt</i>	3

Tabel 2.2: Spesifikasi Utama ATMEGA168-20PU