



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Robot

Kata robot diambil dari kata yang berasal dari kata *robota*, yang mempunyai arti pekerja, dipopulerkan oleh Isaac Asimov pada tahun 1950 dalam sebuah karya fiksinya. Robot biasanya digunakan untuk tugas berat, bahaya, pekerjaan berulang dan kotor. Biasanya menunjuk robot industri digunakan dalam garis produksi. Penggunaan lainnya termasuk pembersihan limbah beracun, penjelajahan bawah air dan luar angkasa, pertambangan, cari dan tolong, dan pencarian tambang. Belakangan ini robot mulai memasuki pasaran konsumen di bidang hiburan, penyedot debu, dan pendeteksi kebocoran gas.

Robot pertama kali dikembangkan oleh *Computer Aided Manufacturing-International* (CAM-1), “ Robot adalah peralatan yang mampu melakukan fungsi-fungsi yang biasa dilakukan oleh manusia, atau peralatan yang mampu bekerja dengan intelegensi yang mirip dengan manusia”. Definisi kedua, dikembangkan oleh Robotics Institute of America (RIA), perkumpulan pembuat robot yang lebih menitikberatkan terhadap kemampuan nyata yang dimiliki oleh robot terhadap kemiripannya dengan manusia.

Robot adalah peralatan manipulator yang mampu diprogram, mempunyai berbagai fungsi, yang dirancang untuk memindahkan barang, komponen-komponen, peralatan, atau alat-alat khusus, melalui berbagai gerakan terprogram untuk pelaksanaan berbagai pekerjaan. Secara mendasar, robot memiliki banyak hal yang sama dengan otomasi internal, mereka memanfaatkan piranti tenaga yang serupa (seperti listrik, hidraulik, atau pneumatik) dan mereka dikendalikan melalui urutan-urutan yang telah dikendalikan melalui program, yang memungkinkan mesin tersebut pada posisi yang diinginkan. Lingkungan seperti ini didefinisikan sebagai lingkungan Dalam perkembangan mesin yang terotomatisasi ini akan menjadi bermacam-macam spesifikasi tergantung

---



---

kebutuhan aktifitas manusia terhadap otomatisasi industri dan robotika.

Robotika merupakan bidang dinamis yang perkembangannya maju pesat. Perkembangan ini selain melibatkan komputasi, permesinan dan elektronika juga menyangkut perkembangan teknologi terapan. Penelitian dibidang terakhir ini biasanya berakar dari industri, untuk memecahkan masalah industri dengan teknologi yang ada. Misalnya adalah pengembangan perangkat lunak untuk mendapatkan algoritma baru bagi pengendalian robot, pengembangan sistem penglihatan dengan sistem resolusi yang lebih tinggi, perbaikan kemampuan sensor dan pengembangan protokol komunikasi untuk komunikasi dengan komputer dan peralatan pabrik sehingga robot diasmsikan sebagai gabungan antara perangkat mekanik dan perangkat elektronik yang berfungsi untuk menggantikan pekerjaan manusia yang beresiko tinggi, seperti pekerjaan pada temperatur yang tinggi, zat kimia, ruang hampa udara, dan pada kondisi yang tidak mungkin dikerjakan oleh manusia. Ada juga robot sebagai alat hiburan dan ada pula robot yang bertugas untuk menggantikan pekerjaan yang menuntut keahlian (accuracy), kecepatan dan lain-lain. Ada pula robot yang berfungsi untuk mengerjakan pekerjaan yang rutin seperti robot pada pemintalan benang. Pada bidang pertahanan keamanan (Hankam), robot digunakan sebagai penjinak bom. Saat ini robot dikembangkan agar dapat berpikir sendiri dengan logika-logika yang telah ditanamkan pada software dalam robot tersebut.

### **2.1.1 Fungsi Robot**

Robot memiliki berbagai macam fungsi sesuai dengan tujuan pembuatan robot itu sendiri. Namun secara umum, robot memiliki fungsi mempermudah pekerjaan manusia. Guna mempermudah pemahaman kita semua mengenai fungsi robot, berikut beberapa hal yang dapat dilakukan oleh robot secara garis besar.

- Dalam hal industri, robot dapat meningkatkan produksi, akurasi, serta daya tahan.
- Untuk membantu manusia melaksanakan tugas-tugas yang berbahaya, kotor, dan juga beresiko.

- Dalam hal pendidikan, robot banyak digunakan untuk menarik pelajar belajar teknologi.
- Membantu meringankan pekerjaan manusia di rumah seperti membersihkan rumah, menjaga rumah, dan lain sebagainya.
- Membantu meringankan di berbagai sektor pekerjaan seperti pembangunan, rumah sakit, dan lain-lain.
- Sebagai media pertunjukan dan hiburan.

### 2.1.2 Jenis-jenis atau Macam-macam Robot

Secara umum, jenis robot dapat dibedakan dalam 4 kategori, yaitu :

#### a. Robot Manipulator

Robot ini tidak dapat berpindah posisi dari satu tempat ke tempatlainnya, sehingga robot tersebut hanya dapat menggerakkan beberapa bagiandari tubuhnya dengan fungsi tertentu yang telah dirancang. Contohnya ialah robot industri.



**Gambar 2.1 Robot Manipulator**

Robot industri yang diilustrasikan ini adalah robot tangan yang memiliki dua lengan (dilihat dari persendian), dan pergelangan. Di ujung pergelangan dapat diinstal berbagai tool sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Jika dipandang dari sudut pergerakan maka terdiri dari tiga pergerakan utama, yaitu badan robot yang dapat berputar ke kiri dan kanan, lengan yang masing-masing dapat bergerak rotasi ke arah atas dan bawah, dan gerak pergelangan sesuai dengan sifat tool.

---

**b. Mobile Robot**

Mobile dapat diartikan bergerak, sehingga robot ini dapat memindahkan dirinya dari satu tempat ke tempat lain. Robot ini merupakan robot yang paling populer dalam dunia penelitian robotika. Dari segi manfaat, robot ini diharapkan dapat membantu manusia dalam melakukan otomatisasi dalam transportasi, platform bergerak untuk robot industri, eksplorasi tanpa awak, dan masih banyak lagi. Contohnya ialah robot *line tracker*.

Robot *line tracker* merupakan robot yang dapat bergerak mengikuti track berupa garis hitam setebal  $\pm 3$  cm. Untuk membaca garis, robot dilengkapi dengan sensor proximity yang dapat membedakan antara garis hitam dengan lantai putih. Sensor proximity ini dapat dikalibrasi untuk menyesuaikan pembacaan sensor terhadap kondisi pencahayaan ruangan. Sehingga pembacaan sensor selalu akurat.



**Gambar 2.2 Robot Line Tracker**

Agar pergerakan robot menjadi lebih halus, maka kecepatan robot diatur sesuai dengan kondisi pembacaan sensor proximity. Jika posisi robot menyimpang dari garis, maka robot akan melambat. Namun jika robot tepat berada di atas garis, maka robot akan bergerak cepat. Robot juga dapat kembali ke garis pada saat robot terlepas sama sekali dari garis. Hal ini bisa dilakukan karena robot selalu mengingat kondisi terakhir pembacaan sensor. Jika terakhir kondisinya adalah disebelah kiri garis, maka robot akan bergerak ke kanan, demikian pula sebaliknya.

---

c. *Flying Robot* (Robot Terbang)



**Gambar 2.3 Robot Terbang**

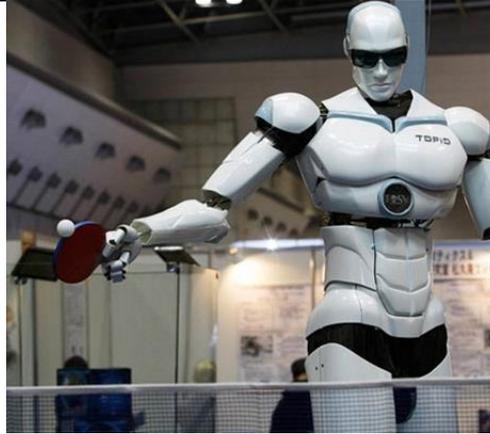
Robot yang mampu terbang, robot ini menyerupai pesawat model yang diprogram khusus untuk memonitor keadaan di tanah dari atas, dan juga untuk meneruskan komunikasi.

d. *Humanoid*

Sebuah robot *humanoid* adalah robot otonom yang dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan atau dirinya sendiri. Ini merupakan perbedaan utama antara jenis humanoid dan jenis robot.

Dalam konteks, robot *humanoid* dapat mencakup, antara lain:

- Dapat merawat dirinya sendiri (seperti pengisian sumber tenaga sendiri).
- Dapat belajar otonom (belajar atau memiliki kemampuan baru tanpa bantuan dari luar (manusia)).
- Dapat menghindari hal-hal yang berbahaya bagi manusia, properti, dan dirinya sendiri.
- Dapat berinteraksi dengan manusia dan lingkungan Seperti robot mekanis lainnya.



**Gambar 2.4 Robot *Humanoid***

Kompleksitas ini mempengaruhi semua skala robot (mekanik, ruang, waktu, sistem dan kompleksitas komputasi), tetapi lebih terlihat pada densitas daya dan skala kompleksitas sistem. Hal pertama, robot humanoid tidak cukup kuat bahkan untuk melompat dan ini terjadi karena kekuatan atau perbandingan berat tidak sebaik seperti tubuh manusia. Ada algoritma yang sangat baik untuk beberapa bidang konstruksi robot *humanoid*, tapi sangat sulit untuk menggabungkan semuanya menjadi satu sistem yang efisien (sistem kompleksitas sangat tinggi). Robot *humanoid* diciptakan untuk meniru beberapa tugas fisik dan mental yang sama seperti manusia menjalani kehidupan setiap harinya.

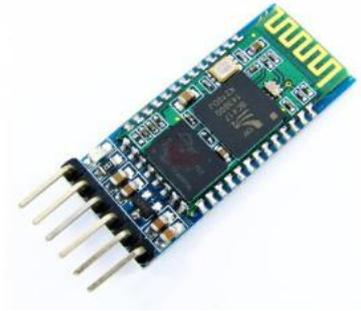
## **2.2 Bluetooth Module HC-06**

Bluetooth Module HC-06 merupakan module komunikasi nirkabel pada frekuensi 2.4GHz dengan default koneksi hanya sebagai SLAVE. Sangat mudah digunakan dengan mikrokontroler untuk membuat aplikasi wireless. Interface yang digunakan adalah serial RXD, TXD, VCC dan GND. Built in LED sebagai indikator koneksi bluetooth.

Tegangan input antara 3.6 ~ 6V, jangan menghubungkan dengan sumber daya lebih dari 7V. Arus saat unpaired sekitar 30mA, dan saat paired (terhubung) sebesar 10mA. 4 pin interface 3.3V dapat langsung dihubungkan ke berbagai macam mikrokontroler (khusus Arduino, 8051, 8535, AVR, PIC, ARM, MSP430, etc.). Jarak efektif

---

jangkauan sebesar 10 meter, meskipun dapat mencapai lebih dari 10 meter, namun kualitas koneksi makin berkurang.



**Gambar 2.5 Bluetooth HC-06**

- **Bluetooth protocol:** Bluetooth Specification v2.0+EDR
- **Frequency:** 2.4GHz ISM band
- **Modulation:** GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)
- **Emission power:** 4dBm, Class 2
- **Sensitivity:** -84dBm at 0.1% BER
- **Speed: Asynchronous:** 2.1Mbps(Max) / 160 kbps, Synchronous:  
1Mbps/1Mbps
- **Security:** Authentication and encryption
- **Profiles:** Bluetooth serial port
- **Power supply:** +3.3VDC 50mA
- **Working temperature:** -20 ~ +75 Centigrade
- **Dimension:** 3.57cm x 1.52cm

### 2.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04

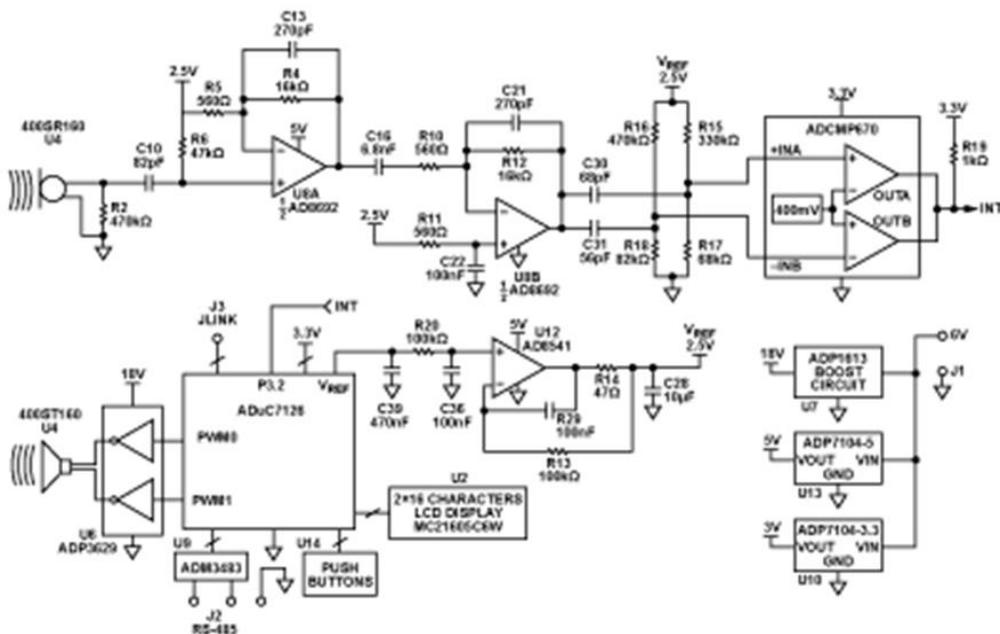
Sensor HC-SR04 adalah sensor pengukur jarak berbasis gelombang ultrasonik. Prinsip kerja sensor ini mirip dengan radar ultrasonik. Gelombang ultrasonik dipancarkan kemudian diterima balik oleh receiver ultrasonik. Jarak antara waktu pancar dan waktu terima adalah representasi dari jarak objek. Sensor ini cocok

untuk aplikasi elektronik yang memerlukan deteksi jarak termasuk untuk sensor pada robot.

Komparasi Sensor HC-SR04 adalah versi low cost dari sensor ultrasonic PING buatan parallax. Perbedaannya terletak pada pin yang digunakan. HC-SR04 menggunakan 4 pin sedangkan PING buatan parallax menggunakan 3 pin. Pada Sensor HC-SR04 pin trigger dan output diletakkan terpisah. Sedangkan jika menggunakan PING dari Parallax pin trigger dan output telah diset default menjadi satu jalur. Tidak ada perbedaan signifikan dalam pengimplementasiannya. Jangkauan karak sensor lebih jauh dari PING buatan parllax, dimana jika ping buatan parllax hanya mempunyai jarak jangkauan maksimal 350 cm sedangkan sensor HC-SR04 mempunyai kisaran jangkauan maksimal 400-500cm.



(a)



(b)

Gambar 2.6 (a) Sensor Ultrasonik HC-SR04 (b) Skematik Rangkaian Sensor Ultrasonik HC-SR04

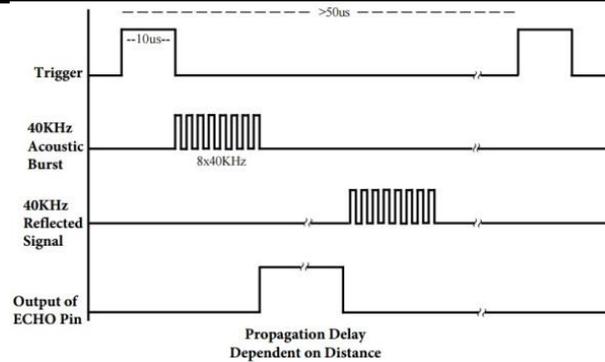


---

### Fungsi Pin-pin HC-SR04

- VCC = 5V *Power Supply*. Pin sumber tegangan positif sensor.
- Trig = *Trigger*/Penyulut. Pin ini yang digunakan untuk membangkitkan sinyal ultrasonik.
- Echo = *Receive*/Indikator. Pin ini yang digunakan untuk mendeteksi sinyal pantulan ultrasonik.
- GND = *Ground*/0V *Power Supply*. Pin sumber tegangan negatif sensor.
- Selain itu sensor HC-SR04 memiliki karakteristik sebagai berikut.
- Tegangan sumber operasi tunggal 5.0 V
- Konsumsi arus 15 mA
- Frekuensi operasi 40 KHz
- Minimum pendeteksi jarak 0.02 m (2 cm)
- Maksimum pendeteksian jarak 4 m
- Sudut pantul gelombang pengukuran 15 derajat
- Minimum waktu penyulutan 10 mikrodetik dengan pulsa berlevel TTL
- Pulsa deteksi berlevel TTL dengan durasi yang bersesuaian dengan jarak deteksi
- Dimensi 45 x 20 x 15 mm

Dalam diagram waktu sensor HC-SR04 memerlukan sinyal logika '1' pada pin Trig dengan durasi waktu 10 mikrodetik (us) untuk mengaktifkan rentetan (*burst*) 8x40KHz gelombang ultrasonik pada elemen Pembangkitnya. Selanjutnya pin Echo akan berlogika '1' setelah rentetan 8x40 KHz tadi, dan otomatis akan berlogika '0' saat gelombang pantulan diterima oleh elemen Pendeteksi gelombang ultrasonik.



**Gambar 2.7 Diagram Waktu HC-SR04**

## 2.4 Arduino

Proyek arduino berawal dilvire, italia pada tahun 2005. sekarang telah lebih dari 120.000 unit terjual sampai dengan 2010. Pendirinya adalah Massimo Banzi dan David Cuartiellez. (Muhammad, Nurfalah, 2014: 5).

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Perangkat kerasnya memiliki prosesor Atmel AVR dan perangkat lunaknya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Saat ini Arduino sangat populer di seluruh dunia. Banyak pemula yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat Arduino karena mudah dipelajari. Tapi tidak hanya pemula, para *hobbyist* atau *profesional* pun ikut senang mengembangkan aplikasi elektronik menggunakan Arduino. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan *assembler* yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (*libraries*) Arduino.

### 2.4.1 Kelebihan Arduino

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



---

### 2.4.2 Soket USB

Soket USB (*Universal serial Bus*) adalah soket kabel USB yang disambungkan kekomputer atau laptop, yang berfungsi untuk mengirimkan program ke arduino dan juga sebagai *port* komunikasi serial.

### 2.4.3 Input atau Output Digital dan Input Analog

Input atau output digital (*digital pin*) adalah pin pin untuk menghubungkan arduino dengan komponen atau rangkaian digital. contohnya , jika ingin membuat LED (*Light Emitting Dioda*) berkedip, LED tersebut bisa dipasang pada salah satu pin input atau output digital dan *ground*. komponen lain yang menghasilkan output digital atau menerima input digital bisa disambungkan ke pin-pin ini. Input *analog* (*analog pin*) adalah pin-pin yang berfungsi untuk menerima sinyal dari komponen atau rangkaian *analog*. Contohnya , potensiometer, sensor suhu, sensor cahaya, dll.

### 2.4.4 Catu Daya

Pin-pin catu daya adalah pin yang memberikan tegangan untuk komponen atau rangkaian yang dihubungkan dengan arduino. Pada bagian catu daya ini pin  $V_{in}$  dan *Reset*.  $V_{in}$  digunakan untuk memberikan tegangan langsung kepada arduino tanpa melalui tegangan pada USB atau adaptor, sedangkan *reset* adalah pin untuk memberikan sinyal reset melalui tombol atau rangkaian eksternal.

### 2.4.5 Baterai atau Adaptor

Soket baterai atau adaptor digunakan untuk menyuplai arduino dengan tegangan dari baterai/adaptor 9V pada saat arduino sedang tidak disambungkan kekomputer. Jika arduino sedang disambungkan kekomputer dengan USB, Arduino mendapatkan suplai tegangan dari USB, Jika tidak perlu memasang baterai atau adaptor pada saat memprogram arduino.

### 2.4.6 Arduino Mega

Arduino Mega adalah papan pengembangan mikrokontroller 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 2.8 Arduino Mega

Tabel 2.1 Spesifikasi dari Arduino Mega

Spesifikasi	
Chip mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack 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 Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk downloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

Tabel 2.2 Fungsi Pin Arduino Mega

No Pin	Nama Pin	Fungsi Pin
1	PG5 (OC0B)	PWM
2	PE0 (RXD0/PCINT8)	Receiver
3	PE1 (TXD0)	Transmitter
4	PE2 (XCK0/AIN0)	PWM



5	PE3 (OC3A/AIN1)	PWM
6	PE4 (OC3B/INT4)	PWM
7	PE5 (OC3C/INT5)	PWM
8	PE6 (T3/INT6)	PWM
9	PE7 (CLKO/ICP3/INT7)	PWM
10	VCC	VCC 5V
11	GND	Ground
12	PH0 (RXD2)	Input Serial
13	PH1 (TXD2)	Input Serial
14	PH2 (XCK2)	Input Serial
15	PH3 (OC4A)	Input Serial
16	PH4 (OC4B)	Input Serial
17	PH5 (OC4C)	Input Serial
18	PH6 (OC2B)	Input Serial
19	PB0 (SS/PCINT0)	Input Digital
20	PB1 (SCK/PCINT1)	Input Digital
21	PB2 (MOSI/PCINT2)	Input Digital
22	PB3 (MISO/PCINT3)	Input Digital
23	PB4 (OC2A/PCINT4)	Input Digital
24	PB5 (OC1A/PCINT5)	Input Digital
25	PB6 (OC1B/PCINT6)	Input Digital
26	PB7 (OC0A/OC1C/PCINT7)	Input Digital
27	PH7 (T4 )	PWM
28	PG3 (TOSC2)	PWM
29	PG4 (TOSC1)	PWM
30	RESET	Reset
31	VCC	VCC 5V
32	GND	Ground
33	XTAL2	Xtal 2
34	XTAL1	Xtal 1
35	PL0 (ICP4)	Input Digital
36	PL1 (ICP5)	Input Digital
37	PL2 (T5 )	Input Digital
38	PL2 (T5 )	Input Digital
39	PL4 (OC5B)	Input Digital
40	PL5 (OC5C)	Input Digital
41	PL6	Input Digital
42	PL7	Input Digital
43	PD0 (SCL/INT0)	Input Digital
44	PD1 (SDA/INT1)	Input Digital
45	PD2 (RXDI/INT2)	Input Digital
46	PD3 (TXD1/INT3)	Input Digital
47	PD4 (ICP1)	Input Digital
48	PD5 (XCK1)	Input Digital
49	PD6 (T1)	Input Digital
50	PD7 (T0)	Input Digital



51	PG0 (WR)	Input Digital
52	PG1 (RD)	Input Digital
53	PC0 (A8)	Input Digital
54	PC1 (A9)	Input Digital
55	PC2 (A10)	Input Digital
56	PC3 (A11)	Input Digital
57	PC4 (A12)	Input Digital
58	PC5 (A13)	Input Digital
59	PC6 (A14)	Input Digital
60	PC7 (A15)	Input Digital
61	VCC	VCC 3V
62	GND	Ground
63	PJ0 (RXD3/PCINT9)	Input Digital
64	PJ1 (TXD3/PCINT10)	Input Digital
65	PJ2 (XCK3/PCINT11)	Input Digital
66	PJ3 (PCINT12)	Input Digital
67	PJ4 (PCINT13)	Input Digital
68	PJ5 (PCINT14)	Input Digital
69	PJ6 (PCINT 15)	Input Digital
70	PG2 (ALE)	Input Digital
71	PA7 (AD7)	Input Digital
72	PA6 (AD6)	Input Digital
73	PA5 (AD5)	Input Digital
74	PA4 (AD4)	Input Digital
75	PA3 (AD3)	Input Digital
76	PA2 (AD2)	Input Digital
77	PA1 (AD1)	Input Digital
78	PA0 (AD0)	Input Digital
79	PJ7	Input Digital
80	VCC	VCC 5V
81	GND	Ground
82	PK7 (ADC15/PCINT23)	Input Analog
83	PK6 (ADC14/PCINT22)	Input Analog
84	PK5 (ADC13/PCINT21)	Input Analog
85	PK4 (ADC12/PCINT20)	Input Analog
86	PK3 (ADC11/PCINT19)	Input Analog
87	PK2 (ADC10/PCINT18)	Input Analog
88	PK1 (ADC9/PCINT17)	Input Analog
89	PK0 (ADC8/PCINT16)	Input Analog
90	PF7 (ADC7)	Input Analog
91	PF6 (ADC6)	Input Analog
92	PF5 (ADC5/TMS)	Input Analog
93	PF4 (ADC4/TMK)	Input Analog
94	PF3 (ADC3)	Input Analog
95	PF2 (ADC2)	Input Analog
96	PF1 (ADC1)	Input Analog

---

---

97	PF0 (ADC0)	Input Analog
98	AREF	Pembatas Tegangan
99	GND	Ground
100	AVCC	Supply VCC

---

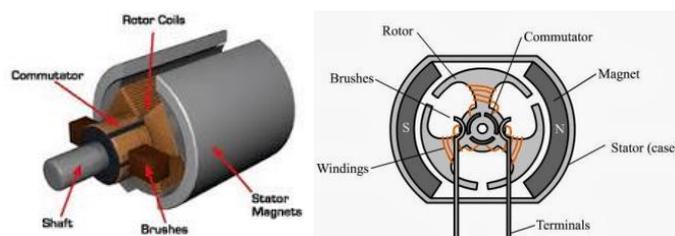
---

## 2.5 Motor DC

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. Motor DC memiliki 3 bagian atau komponen utama untuk dapat berputar sebagai berikut.

### 2.5.1 Bagian atau Komponen Utama Motor DC

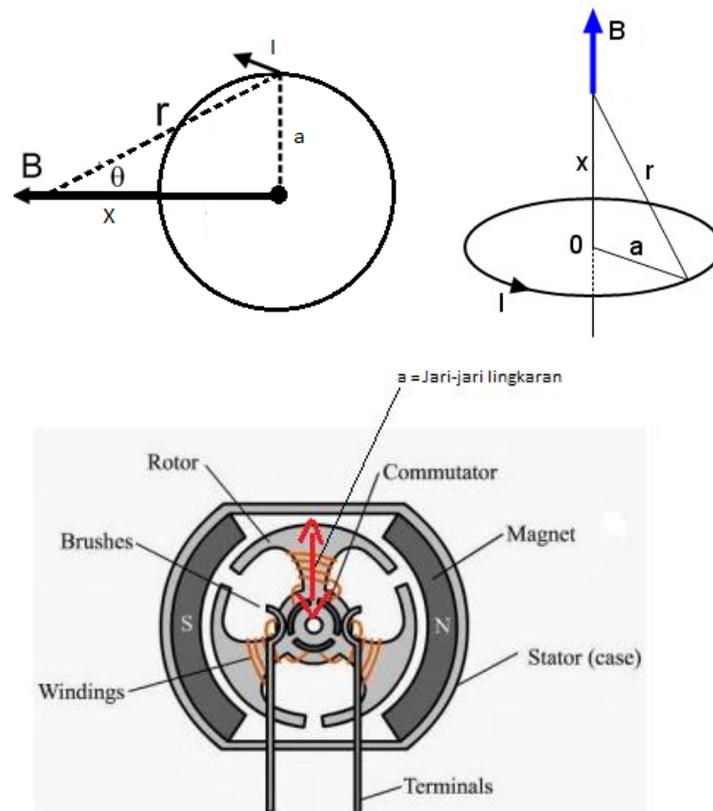
- Kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.
- Current Elektromagnet atau Dinamo. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi.
- Commutator. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



**Gambar 2.9 Motor DC dan Bagian-bagiannya**

---

---



**Gambar 2.10 Nilai a pada Motor DC**

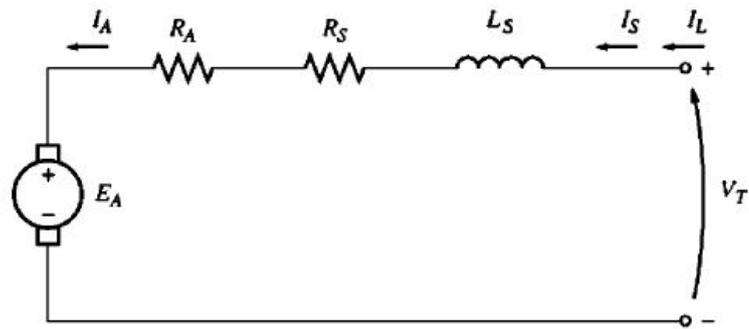
Jarak titik kawat ke ujung rotor (a) juga dapat disebut dengan jari-jari lingkaran motor. Untuk menghitung medan magnet di pusat kawat melingkar dapat menggunakan rumus:

$$B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi a}$$

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \times 10^{-7}$        $2\pi = 2 \times 22/7 = 2 \times 3,14$

$i$  = arus pada kawat       $a$  = jarak titik P dari kawat (m)

$N$  = Jumlah Lilitan



**Gambar 2.11 Rangkaian Ekivalen Motor DC**

Gambar diatas menunjukkan rangkaian ekivalen dari motor DC, dimana

$R_A$  = Hambatan Variabel A     $V_T$  = Tegangan input

$R_S$  = Hambatan Variabel S     $I_A$  = Arus output  $R_A$

$L_S$  = Lilitan     $I_L$  = Arus input

$E_A$  = Tegangan output     $I_S$  = Arus input  $L_S$

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

### 2.5.2 Persamaan Gaya Lorentz

Gaya dorong pada kawat angker motor listrik dc merupakan salah satu bentuk gaya Lorentz. Gaya Lorentz adalah gaya yang ditimbulkan oleh adanya arus listrik yang berada di dalam sebuah medan magnet. Perhitungan besar gaya Lorentz adalah sesuai dengan rumus berikut:

$$F = B \times I \times L$$

Dimana:

$F$  = Gaya Lorentz (Newton)

$B$  = Medan magnet (Tesla)

---

$I$  = Arus listrik (Ampere)

$L$  = Panjang kawat yang dialiri listrik (Meter)

Kerapatan fluks magnetik  $B$  dalam ruang hampa didefinisikan sebagai berikut

$$B = \mu H$$

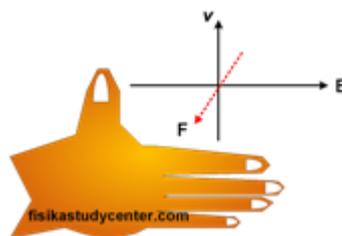
Bahan yang berbeda memiliki nilai  $\mu$  yang sering disebut sebagai permeabilitas yaitu kemampuan suatu material untuk menunjang terbentuknya medan magnet dalam material tersebut. Sedangkan  $H$  disebut sebagai efek *Hall*, yaitu arus muatan positif yang mengalir di dalam lempengan konduktor. Bahan yang berbeda memiliki nilai  $\mu$  yang berbeda, yang merupakan sifat magnetik medium tersebut. Sifat ini disebut permeabilitas magnetic atau permeabilitas dari suatu medium.

$B$  diukur dalam weber per meter persegi ( $\text{Wb/m}^2$ ) atau dalam satuan internasionalnya (SI) disebut Tesla (T). satuan yang sama yang sering dipakai untuk kecepatan fluks magnetik ialah gauss (G);  $1 \text{ Wb/m}^2$  samadengan  $10.000 \text{ G}$ . Tetapan  $\mu_0$  bukan besaran yang tak berdimensi dan harganya didefinisikan untuk ruang hampa dalam satuan henry per meter (H/m),

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$\mu_0$  disebut permeabilitas ruang hampa. Vektor kerapatan fluks magnetik  $B$  sudah menyatakan medan vektor kerapatan fluks dari medan listrik dan medan magnetic.

Konsep dasar gaya magnet adalah arah gaya magnetik yang bekerja pada electron. Untuk menentukan arah gaya magnetik gunakan kaidah tangan kanan sebagai berikut:



**Gambar 2.12 Kaidah Tangan Kanan**

4 jari = arah medan magnet

ibu jari = arah gerak

---



---

Pada gambar 2.11 arah ibu jari tangan kanan menunjukkan arah arus listrik sedangkan jari-jari tangan yang melingkari penghantar menunjukkan arah medan magnet.

Jika diketahui dua kutub magnet maka arah medan magnet adalah dari kutub utara (U) menuju kutub selatan (S) dan karena elektron adalah muatan negatif, maka arah gaya yang bekerja sesuai arah punggung tangan yaitu keluar bidang baca.

Besar gaya Lorentz berpengaruh langsung terhadap kecepatan putaran serta gaya torsi motor listrik. Sesuai dengan rumusan di atas, maka kecepatan putaran serta torsi motor tergantung dari besar medan magnet, besar arus listrik, serta panjang kawat. Ketiga komponen tersebut dapat direkayasa sehingga didapatkan karakteristik motor listrik yang sesuai dengan yang diinginkan. Merekayasa jumlah lilitan kawat angker serta besar arus listrik yang masuk ke kawat tersebut menjadi dua komponen yang paling mudah dimodifikasi pada sebuah motor listrik.

### 2.5.3 Jenis-Jenis Motor DC

- a. Motor DC sumber daya terpisah/ *Separately Excited*, Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/separately excited.
- b. Motor DC sumber daya sendiri/ *Self Excited*, Pada jenis motor DC sumber daya sendiri di bagi menjadi 3 tipe sebagai berikut :
  - Motor DC Tipe Shunt

Pada motor shunt, gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A). Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.

Karakter kecepatan motor DC tipe shunt adalah :

- 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.



- Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

- Motor DC Tipe Seri

Dalam motor seri, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo.

Karakter kecepatan dari motor DC tipe seri adalah :

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

- Motor DC Tipe Kompon/Gabungan

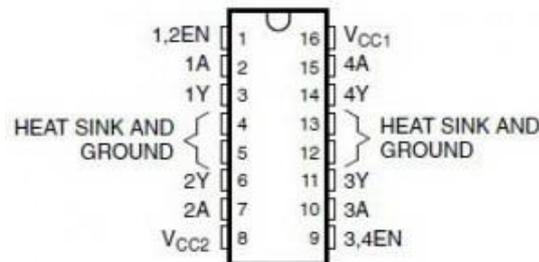
Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo (A). Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil.

Karakter dari motor DC tipe kompon/gabungan ini adalah, makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torque penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini.

#### 2.5.4 Driver Motor IC L293D

IC L293D adalah IC yang didesain khusus sebagai driver motor DC dan dapat dikendalikan dengan rangkaian TTL maupun mikrokontroler. Motor DC yang dikontrol dengan driver IC L293D dapat dihubungkan ke ground maupun ke sumber tegangan positif karena di dalam driver L293D sistem driver yang digunakan adalah totem pool. Dalam 1 unit chip IC L293D terdiri dari 4 buah driver motor DC yang berdiri sendiri sendiri dengan kemampuan mengalirkan arus 1 Ampere tiap drivernya. Sehingga dapat digunakan untuk membuat driver

H-bridge untuk 2 buah motor DC. Konstruksi pin driver motor DC IC L293D adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.13 Pin Driver Motor DC IC L293D**

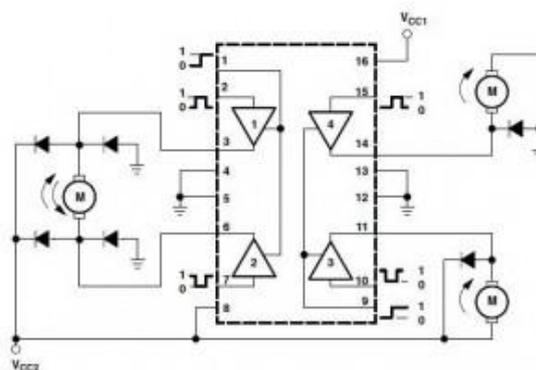
- Fungsi Pin Driver Motor DC IC L293D

- Pin EN (Enable, EN1.2, EN3.4) berfungsi untuk mengizinkan driver menerima perintah untuk menggerakkan motor DC.
- Pin In (Input, 1A, 2A, 3A, 4A) adalah pin input sinyal kendali motor DC.
- Pin Out (Output, 1Y, 2Y, 3Y, 4Y) adalah jalur output masing-masing driver yang dihubungkan ke motor DC.
- Pin VCC (VCC1, VCC2) adalah jalur input tegangan sumber driver motor DC, dimana VCC1 adalah jalur input sumber tegangan rangkaian kontrol driver dan VCC2 adalah jalur input sumber tegangan untuk motor DC yang dikendalikan.
- Pin GND (Ground) adalah jalur yang harus dihubungkan ke ground, pin GND ini ada 4 buah yang berdekatan dan dapat dihubungkan ke sebuah pendingin kecil.

- Feature Driver Motor DC IC L293D

Driver motor DC IC L293D memiliki feature yang lengkap untuk sebuah driver motor DC sehingga dapat diaplikasikan dalam beberapa teknik driver motor DC dan dapat digunakan untuk mengendalikan beberapa jenis motor DC. Feature yang dimiliki driver motor DC IC L293D sesuai dengan datasheet adalah sebagai berikut :

- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
  - Separate Input-Logic Supply
  - Internal ESD Protection
  - Thermal Shutdown
  - High-Noise-Immunity Inputs
  - Functionally Similar to SGS L293 and SGS L293D
  - Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
  - Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
  - Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)
- Rangkaian Aplikasi Driver Motor DC IC L293D



**Gambar 2.14 Rangkaian Driver IC L293D**

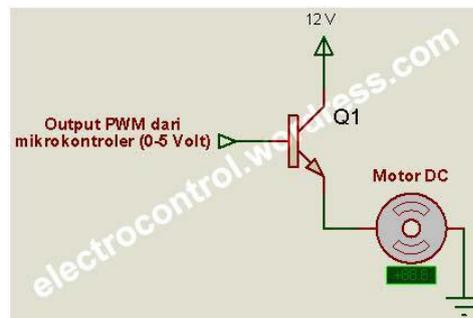
Pada gambar driver IC L293D diatas adalah contoh aplikasi dari keempat unit driver motor DC yang dihubungkan secara berbeda sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

### 2.5.5 Prinsip Kerja Driver Motor IC L293D

Pada dasarnya beberapa aplikasi yang menggunakan motor DC harus dapat mengatur kecepatan dan arah putar dari motor DC itu sendiri. Untuk dapat melakukan pengaturan kecepatan motor DC dapat menggunakan metode PWM (Pulse Width Modulation) sedangkan untuk mengatur arah putarannya dapat menggunakan rangkaian H-bridge yang tersusun dari 4 buah transistor. Tetapi

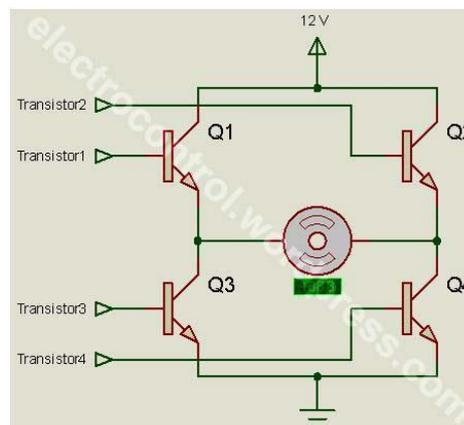
dipasaran telah disediakan IC L293D sebagai driver motor DC yang dapat mengatur arah putar dan disediakan pin untuk input yang berasal dari PWM untuk mengatur kecepatan motor DC.

Prinsip dasar dari IC L293D driver motor DC sebenarnya menggunakan rangkaian analog. Jika diinginkan sebuah motor DC yang dapat diatur kecepatannya tanpa dapat mengatur arah putarnya, maka kita dapat menggunakan sebuah transistor sebagai driver. Untuk mengatur kecepatan putar motor DC digunakan PWM yang dibangkitkan melalui fitur Timer pada mikrokontroler. Sebagian besar power supply untuk motor DC adalah sebesar 12 V, sedangkan output PWM dari mikrokontroler maksimal sebesar 5 V. Oleh karena itu digunakan transistor sebagai penguat tegangan. Dibawah ini adalah gambar driver motor DC menggunakan transistor.



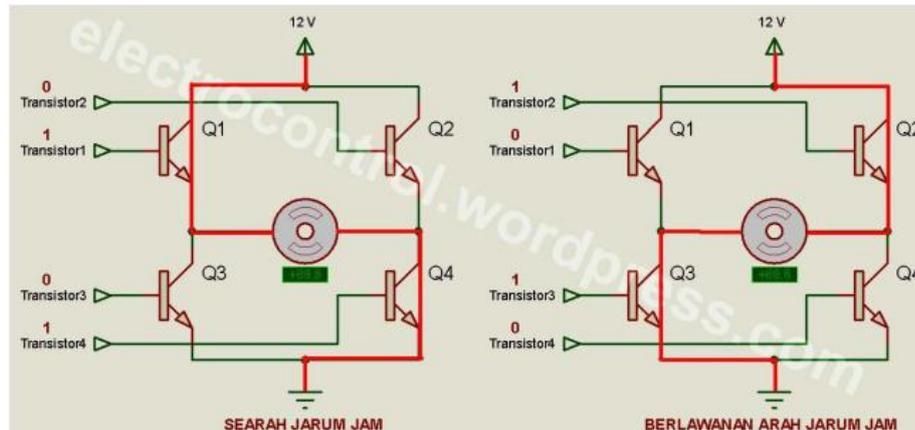
**Gambar 2.15 PWM Mikrokontroler ke MotorDC**

Sedangkan jika diinginkan sebuah motor DC yang dapat diatur kecepatan atau arah putarnya maka digunakanlah rangkaian H-bridge yang tersusun dari 4 buah transistor.



**Gambar 2.16 Rangkaian H-bridge**

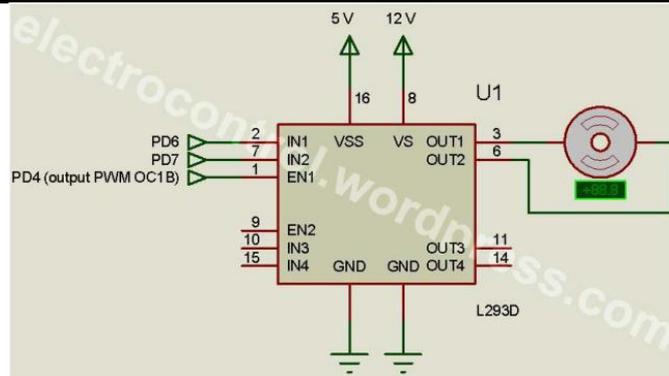
Dari gambar diatas jika diinginkan motor DC berputar searah jarum jam maka harus mengaktifkan transistor1 dan transistor4 dengan cara memberikan logika high pada kaki Basis transistor tersebut. Sedangkan untuk berputar berlawanan arah jarum jam maka harus mengaktifkan transistor2 dan transistor 3 dengan cara memberikan logika high pada kaki Basis transistor tersebut. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah ini.



**Gambar 2.17 Prinsip Kerja Rangkaian H-bridge**

Dari gambar diatas terlihat jelas bahwa dengan mengaktifkan transistor1 dan transistor4 akan menyebabkan motor DC berputar searah jarum jam. Dimana arus listrik akan mengalir dari power supply (12 V) melalui transistor1, lalu ke motor DC, lalu ke transistor4 dan akan berakhir di ground. Begitu juga sebaliknya untuk putaran berlawanan arah jarum jam.

Sedangkan untuk pengaturan kecepatannya anda dapat menghubungkan output PWM ke kaki basis transistor1 untuk putaran searah jarum jam. Dan untuk putaran berlawanan arah jarum jam, output PWM dapat dihubungkan ke kaki basis transistor2. Berikut ini merupakan aplikasi IC L293D jika di hubungkan dengan mikrokontroler AVR.



**Gambar 2.18 Rangkaian Driver IC L293D ke Motor DC**

Dari gambar diatas pin EN1 merupakan sebuah pin yang difungsikan untuk meng-enable-kan motor DC (ON/OFF motor DC), oleh karena itu pin EN1 dapat dihubungkan dengan output PWM dari mikrokontroler. Sedangkan pin IN1 dan IN2 digunakan sebagai input logika untuk mengatur putaran motor DC dan dapat juga digunakan untuk memberhentikan motor DC secara cepat (fast motor stop).

**Tabel 2.3 Input Logika Motor DC**

IN 1	IN2	Kondisi Motor
0	0	stop
0	1	putar searah jarum jam
1	0	putar berlawanan arah jarum jam
1	1	Stop

Jika diinginkan motor berputar searah jarum jam, maka pin mikrokontroler PD6 (IN1) diberi logika low dan PD7 (IN2) diberi logika high. Sedangkan EN1 dihubungkan dengan output PWM mikrokontroler (PD4).

## 2.6 Vacuum Cleaner

*Vacuum Cleaner* (Penghisap Debu) adalah peralatan modern yang sangat membantu pekerjaan Rumah Tangga, khususnya untuk membersihkan debu dengan cepat dan efisien waktu. Alat ini khusus digunakan untuk menghisap debu yang melekat di permukaan lantai, karpet furniture, sofa, dinding, dll.



**Gambar 2.19 Vacuum Cleaner**

### 2.6.1 Komponen penyusun Vacuum Cleaner

Komponen penyusun komponen *vacuum cleaner* adalah sebagai berikut.

- penyedot (intake port), saluran keluar (exhaust port), motor listrik, kantong debu (dust bag).
- Penyedot merupakan bagian yang akan kita bersihkan atau tempat debu dihisap ke *vacuum cleaner*.
- Saluran keluar merupakan tempat udara yang dihisap keluar keatmosfir setelah dibersihkan melalui penyaring. Sedangkan debu ditampung dalam kantong debu.
- Motor listrik berfungsi untuk memutar kipas (fan). Perputaran fan ini yang mengakibatkan penurunan tekanan didalam *vacuum cleaner* (ruang hampa) sehingga debu terhisap.

Apabila pembersih vakum dihubungkan ke sumber listrik dan dihidupkan, maka akan terjadi hal-hal sebagai berikut:

- Arus listrik akan mengalir ke motor listrik sehingga motor berputar.
- Motor akan memutar kipas angin (fan) yang dipasang pada poros motor.
- Ketika berputar, sudu-sudu kipas angin menekan udara ke arah exhaust.
- Apabila partikel-partikel udara ditekan, kerapatan udara meningkat di depan fan dan turun di belakang fan.

---

### 2.6.2 Prinsip Kerja *Vacuum Cleaner*

Secara umum prinsip kerja *vacuum cleaner* dapat dijabarkan sebagai berikut.

- Prinsip kerja dari *vacuum cleaner* ini dengan cara memanfaatkan perbedaan tekanan
- Fan (kipas) akan mengurangi tekanan didalam *vacuum cleaner* sehingga terjadi *vacuum* (ruang hampa)
- Tekanan Atmosfir akan mendorong udara luar kedalam *vacuum cleaner* sehingga debu akan ikut terhisap masuk kedalam kantong debu didalam *vacuum cleaner*
- Debu dan udara yang terhisap melalui penyedot (intake port) melewati penyaring (filter). Debu ditampung di kantong debu (dust bag) dan udara dibuang dalam keadaan bersih ke atmosfer setelah melewati penyaring.

### 2.6.3 DC *Vacuum Cleaner*



**Gambar 2.20 DC *Vacuum Cleaner***

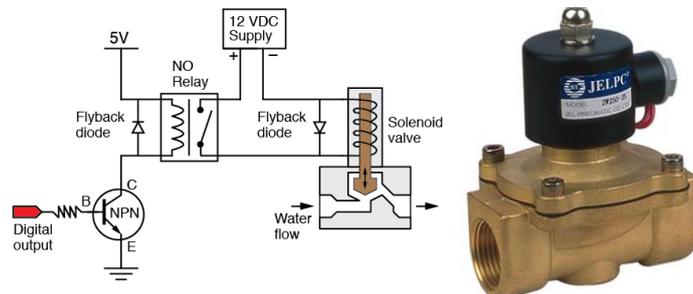
Merupakan *vacuum cleaner* dengan menggunakan arus DC. *Vacuum cleaner* ini sering disebut sebagai *handy vacuum cleaner*. Keuntungannya dibandingkan *vacuum cleaner* biasa ialah lebih murah dan praktis untuk dibawa.

## 2.7 *Solenoid Valve*

*Solenoid Valve* merupakan kran otomatis dengan gerakan membuka atau menutup kran (*valve*) yang diatur oleh sistem control. Mungkin banyak dari anda sering mendengar kata *Solenoid Valve*. Secara garis besar *Solenoid Valve* adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk membuka dan menutup *valve*/katup/kran

---

secara otomatis. Kapan solenoid valve membuka dan menutup kran ini tergantung dari sensor yang menghubungkan sumber penggerak.



**Gambar 2.21 Solenoid Valve**

Sebenarnya *solenoid valve* merupakan bagian dari suatu sistem kontrol. Secara umum sistem kontrol dibagi menjadi 3 bagian :

- Sensor yang merupakan alat untuk menerima sinyal dari sistem kontrol biasanya merupakan parameter yang akan diukur seperti temperatur, tekanan (pressure) dari media yang mau dikontrol.
- Controller* merupakan alat/bagian yang akan memberikan perintah *solenoid valve* atau *control valve* untuk melakukan tindakan membuka dan menutup *valve* (kran)
- Control Valve* atau *Solenoid Valve* yang merupakan bagian terakhir dari sistem kontrol untuk melakukan tindakan membuka atau menutup

Sumber penggerak solenoid valve bermacam-macam bisa dengan udara yang biasa disebut pneumatic, listrik (electric) atau gabungan udara dan listrik (pneumatic electric). Di Indonesia istilah solenoid valve lebih mengacu kepada penggerak listrik makanya banyak yang menyebut dengan istilah Kran Elektrik maupun Kran Otomatis. Oleh karena itu untuk istilah solenoid valve disini mengacu kepada penggerak elektrik.

Sumber penggerak elektrik untuk solenoid valve sendiri ada yang listrik AC (220 V, 110 V, 24V) dan listrik DC (12 V, 24 V). Sehubungan dengan prosentase buka an valve Solenoid Valve hanya bisa membuka valve 100% atau menutup valve 100%. Juga ada pilihan untuk tipe Normally Open (NO) dan Normally Closed.

---

Solenoid Valve dengan tipe NO artinya pada saat tidak ada penggerak elektrik posisi valve adalah membuka 100%. Sedangkan solenoid Valve tipe NC artinya pada saat tidak ada penggerak elektrik maka posisi Valvenya adalah menutup 100%.

## 2.10 Baterai

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*).

### 2.10.1 *Lithium Polymer Battery* (Baterai LiPo)

Baterai *Lithium Polimer* atau biasa disebut dengan LiPo merupakan salah satu jenis baterai yang sering digunakan dalam dunia robot. Baterai Lipo dibuat dari beberapa kombinasi bahan: *Lithium-Cobalt*, *Lithium-Phospat* dan *Lithium-Mangan*. Kebanyakan baterai yang dijual kepada konsumen terbuat dari kombinasi *Lithium-Cobalt*.



Gambar 2.22 *Lithium Polymer Battery* 1000 mAh

---

Ada tiga kelebihan utama yang ditawarkan oleh baterai berjenis LiPo ketimbang baterai jenis lain seperti NiCD (*Nickel Cadmium Battery*) atau NiMH (*Nickel Metal Hydride*) yaitu:

- Baterai *Lithium Polimer* memiliki bobot yang ringan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran.
- Baterai *Lithium Polimer* memiliki kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar.
- Baterai *Lithium Polimer* memiliki tingkat discharge rate energi yang tinggi, dimana hal ini sangat berguna sekali dalam bidang RC.
- Selain keuntungan yang dimiliki, baterai jenis ini juga memiliki beberapa kelemahan yaitu:
- Harga baterai *Lithium Polimer* masih tergolong mahal jika dibandingkan dengan baterai jenis *NiCD* dan *NiMH*.
- Performa yang tinggi dari baterai *Lithium Polimer* harus dibayar dengan umur yang lebih pendek. Usia baterai *Lithium Polimer* sekitar 300-400 kali siklus pengisian ulang. Sesuai dengan perlakuan yang diberikan pada baterai.

### 2.10.1 Baterai *Alkaline* (Alkali)

Baterai *Alkaline* ini memiliki daya tahan yang lebih lama dengan harga yang lebih mahal dibanding dengan Baterai Zinc-Carbon. Elektrolit yang digunakannya adalah Potassium hydroxide yang merupakan Zat Alkali (*Alkaline*) sehingga namanya juga disebut dengan Baterai *Alkaline*. Saat ini, banyak Baterai yang menggunakan *Alkaline* sebagai Elektrolit, tetapi mereka menggunakan bahan aktif lainnya sebagai Elektrodanya.

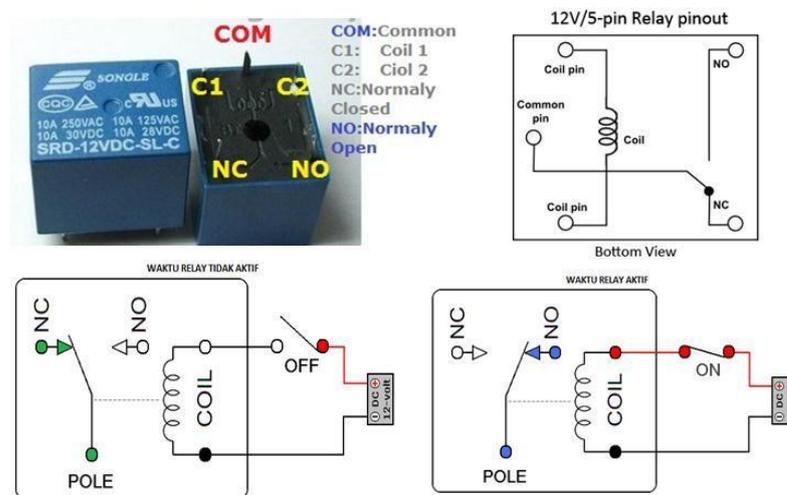


Gambar 2.23 Baterai *Alkaline*

---

## 2.11 Driver Relai

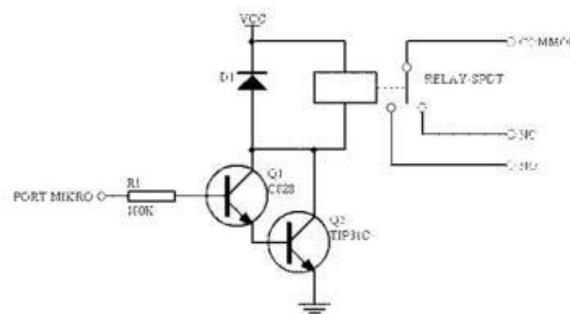
Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *Electromechanical* (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.



Gambar 2.24 Relai SPDT (*Single Pole Dual Throw*)

prinsip kerja dari relay ini yaitu: pada C1 dan C2 terdapat kumparan sebagai driver. ketika C1 dan C2 belum dilewati arus, maka terminal Com dan No akan tersambung, dan ketika C1 dan C2 dilewati arus maka plat Com akan berpindah sehingga terminal Com dan No akan tersambung.

Gambar berikut adalah rangkaian praktis driver yang biasa digunakan dalam proyek-proyek mikrokontroler.



Gambar 2.25 Rangkaian Driver Relai



---

Komponen aktif rangkaian di atas merupakan 2 buah transistor jenis NPN yang disusun secara Darlington. Transistor ini berfungsi sebagai saklar elektronik yang akan mengalirkan arus jika terdapat arus bias pada kaki basisnya, dan akan menyumbat arus jika tidak terdapat arus bias pada kaki basisnya. Relay yang dapat digunakan untuk rangkaian di atas ini adalah relay yang memiliki tegangan kerja pada koilnya antara 5Vdc hingga 12Vdc. Jika relay yang digunakan membutuhkan tegangan kerja di atas 12Vdc, maka kita dapat mengganti transistor C828 dengan transistor yang memiliki tegangan kerja lebih besar seperti BD139 misalnya.

Untuk relay-relay kecil dengan tegangan kerja 5V – 12V, untuk lebih menghemat biaya, transistor TIP31C dapat diganti dengan C828, 2N3904 atau NPN sejenis kita bisa mencarinya pada datasheet transistor yang ada di google. Untuk relay dengan tegangan kerja yang lebih besar, maka transistor TIP31C sudah lebih dari cukup.