

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pemetaan Konsentrasi Gas

Dalam rangka menciptakan gridmaps konsentrasi gas, sel-sel harus diperbarui beberapa kali. Pembacaan sensor gas hanya mewakili konsentrasi di daerah yang sangat kecil dari permukaan sensor ($\approx 1 \text{ cm}^2$). Namun demikian bacaan ini berisi informasi tentang wilayah yang lebih luas karena dua alasan. Pertama, meskipun sifat berfluktuasi bergerigi distribusi gas adalah wajar untuk menganggap bahwa konsentrasi gas di sekitar titik pengukuran tidak berubah drastis karena kelancaran struktur konstanta waktu. Kedua, sensor gas metal oksida melakukan integrasi pembacaan sementara berturut-turut secara implisit karena respon dan waktu pemulihan yang lambat. Informasi spasial sehingga terintegrasi sepanjang pola pergerakan yang dilalui oleh robot.

Pembacaan sensor yang terpasang menggunakan fungsi Gaussian radial simetris dua dimensi:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (2.1)$$

Fungsi pembobotan ini menunjukkan kemungkinan bahwa pengukuran mewakili konsentrasi rata-rata pada jarak tertentu dari titik pengukuran. Secara rinci dapat ditunjukkan seperti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pada langkah pertama normalisasi pembacaan r_t ditentukan dari pembacaan sensor R_t sebagai berikut:

$$r_t = \frac{R_t - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \quad (2.2)$$

Menggunakan nilai minimal dan maksimal (R_{min}, R_{max}) yang dihasilkan oleh sensor.

2. Kemudian, untuk setiap sel grid (i, j) dalam radius *cutoff* R_{co} , di sekitar titik x_t dimana x_t merupakan pengukuran yang diambil pada waktu t , perpindahan $\delta_t^{(i,j)}$ dari pusat grid sel $x^{(i,j)}$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta_t^{i,j} = x^{(i,j)} - x_t \quad (2.3)$$

3. Bobot $w_t^{(i,j)}$ untuk semua sel (i, j) pada grid ditentukan sebagai berikut:

$$w_t^{(i,j)} \propto \delta_t^{i,j} : \delta_t^{i,j} \leq R_{co} \\ 0 : \delta_t^{i,j} \geq R_{co} \quad (2.4)$$

4. Selanjutnya, dua nilai sementara dipertahankan per sel grid diperbarui dengan pembobotan jumlah total bobot sebagai berikut:

$$W_t^{(i,j)} = \sum_{t'} w_{t'}^{(i,j)} \quad (2.5)$$

dan jumlah pembacaan terbobot yaitu sebagai berikut:

$$WR_t^{(i,j)} = \sum_{t'} r_{t'} w_{t'}^{(i,j)} \quad (2.6)$$

5. Jika jumlah total dari bobot $W_t^{(i,j)}$ melebihi nilai ambang batas W_{min} , nilai sel grid diatur sebagai berikut:

$$c_t^{(i,j)} = \frac{WR_t^{(i,j)}}{W_t^{(i,j)}} : W_t^{(i,j)} \geq W_{min} \quad (2.7)$$

((Lilienthal & Tom, 2004))

2.2. Modul komunikasi Wireless 802.15.4 Xbee-Pro

Modul wireless XBee Pro atau yang sering disebut dengan modul zigbee merupakan modul transceiver. Radio frequency transceiver atau pengirim dan

penerima frekuensi radio ini berfungsi untuk komunikasi secara full duplex. Salah satu modul komunikasi wireless dengan frekuensi 2,4 GHz adalah XBee-Pro OEM ZigBee/IEEE 802.15.4 2,4 GHz. Radio frequency transceiver ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari RF transmitter dan RF receiver dengan sistem interface serial UART asynchronous.

Modul Xbee-Pro direkayasa untuk memenuhi ZigBee / IEEE 802.15.4 dan merupakan untuk standarisasi pengalaman unik dengan harga yang murah, serta jaringan nirkabel ini hanya membutuhkan daya yang rendah. Modul membutuhkan daya minim dan disisi pengiriman dapat mengandalkan data penting antar perangkat.

Modul komunikasi wireless ini mempunyai fitur yaitu:

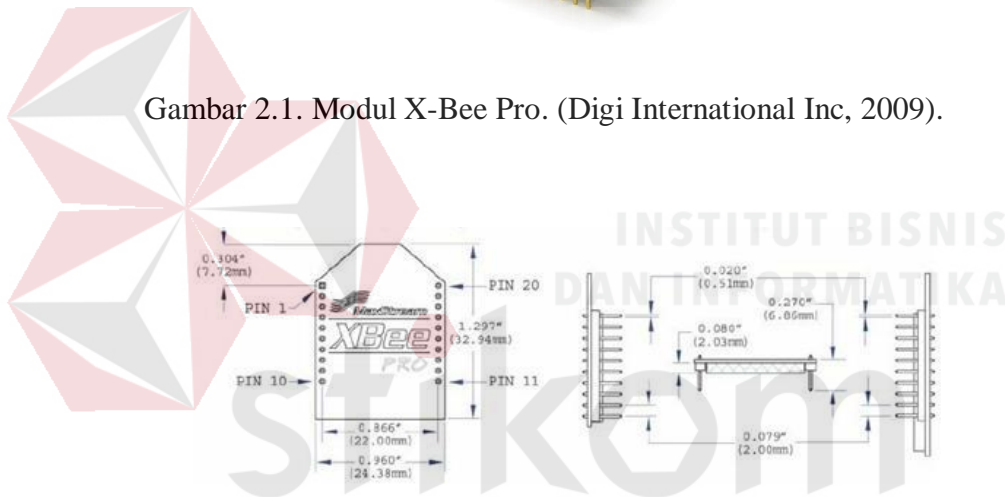
1. Pengontrolan jarak jauh dalam ruangan bisa mencapai 100 meter dan jika diluar ruangan dapat mencapai 300 meter.
2. Modul ini mampu mentransmisikan daya hingga: 100 mW (20 dBm)
3. Mempunyai sensitivitas penerima data mencapai: -100 dBm
4. Mempunyai kecepatan transfer data: 250,000 bps
5. Paket dapat dikirimkan dan diterima menggunakan data 16-bit atau sebuah alamat 64-bit (protokol 802.15.4).
6. Setiap modul akan menerima paket memiliki alamat broadcast. Ketika dikonfigurasi untuk beroperasi di Broadcast Mode, modul penerima tidak mengirim ACK (Acknowledgement) dan Transmitting.

Xbee-Pro mempunyai 20 kaki, diantaranya 4 pin sebagai input adalah port 3, port 5, port 9, dan port 14, serta ada 4 pin sebagai output adalah port 2, port 4, port 6, dan port 13. Dan 4 pin yang digunakan, yaitu VCC dan GND untuk

tegangan supply, DOUT merupakan pin transmit (TX), DIN merupakan pin *receive* (RX). Modul X-Bee Pro dapat dilihat pada gambar 2.1. dan dimensi Xbee-Pro dapat dilihat pada gambar 2.1. dibawah ini.



Gambar 2.1. Modul X-Bee Pro. (Digi International Inc, 2009).



Gambar 2.2. Dimensi Xbee-Pro. (Digi International Inc, 2009).

Tabel 2.1. Spesifikasi Xbee-Pro. (Digi International Inc, 2009).

| Performance | |
|----------------------------------|--|
| Indoor Urban-Range | up to 300' (100 m) |
| Outdoor RF line-of-sight Range | up to 1 mile (1500 m) |
| Transmit Power Output | 60 mW (18 dBm) conducted, |
| (software selectable) | 100 mW (20 dBm) EIRP |
| RF Data Rate | 250,000 bps |
| Serial Interface Data Rate | 1200 – 115200 bps |
| (software selectable) | (non-standard baud rates also supported) |
| Receiver Sensitivity | - 100 dBm (1% packet error rate) |
| Power Requirements | |
| Supply Voltage | 2.8 – 3.4 V |
| Idle / Receive Current (typical) | 55 mA (@3.3 V) |
| Power-down Current | < 10 μ A |
| General | |
| Operating Frequency | ISM 2.4 GHz |
| Frequency Band | 2.4 - 2.4835 GHz |
| Modulation | OQPSK |
| Dimensions | 0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm) |
| Operating Temperature | -40 to 85° C (industrial) |
| Antenna Options | Integrated Whip, Chip or U.FL |
| Connector | |
| Networking & Security | |
| Supported Network Topologies | |
| | Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer |
| Number of Channels | 12 Direct Sequence Channels |

2.3. Sensor Gas Karbon Monoksida (MQ-7)

MQ-7 adalah sebuah sensor gas karbon monoksida (CO) yang cukup mudah penggunaannya. Sensor ini sangat cocok untuk mendeteksi gas CO dengan jangkauan deteksinya mulai dari 10 sampai 10.000 ppm. Bentuk sensor ini mirip dengan sensor MQ-3 yang digunakan untuk mendeteksi alkohol. Kemasan sensor MQ-7 tersedia dalam dua macam yaitu dari bahan metal dan plastik. Komponen sensor MQ-7 dapat dilihat pada tabel 2.2:

Tabel 2.2. Komponen Sensor MQ – 7 (Hanwei Electronics, 2007).

| No | Bagian | Komponen |
|----|------------------------|---|
| 1 | Gas sensing layer | snO ₂ |
| 2 | Electrode | Au |
| 3 | Electrode line | Pt |
| 4 | Heater coil | Ni-cralloy |
| 5 | Tubular ceramic | Al ₂ O ₃ |
| 6 | Anti-explosion network | Stainlees steel gauze (sus316 100-mesh) |
| 7 | Clamp ring | Copper plating Ni |
| 8 | Resin base | Bakelite |
| 9 | Tube pin | Copper plating Ni |

Sensor ini memiliki sensitivitas yang tinggi dan waktu respon yang cepat.

Output sensor berupa resistansi analog. Rangkaian drivernya pun sangat sederhana, yang dibutuhkan hanya suplai daya 5V untuk *heater coil*, menambahkan resistansi beban (RL), dan menghubungkan *output* ke ADC.



Gambar 2.3. Sensor Gas MQ7.

Berikut adalah spesifikasi dari sensor gas MQ7:

- Catu daya *heater* : 5V AC/DC
- Catu daya rangkaian : 5VDC
- Range* pengukuran : 20 – 2000 ppm
- Mampu mengukur gas karbon monoksida
- Output : analog (perubahan tegangan) dengan tambahan Rload

2.4. Liquid Cristal Display (LCD)

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid*

Cristal Display) adalah salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.



Gambar 2.4. LCD (*Liquid Cristal Display*).

LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki *polarizer* cahaya vertikal depan dan *polarizer* cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.

Dalam modul LCD (*Liquid Cristal Display*) terdapat mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD (*Liquid Cristal Display*). mikrokontroler pada suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) dilengkapi dengan

memori dan register. Memori yang digunakan mikrokontroler internal LCD adalah:

- a. DDRAM (*Display Data Random Access Memory*) merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada.
- b. CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
- c. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD (*Liquid Cristal Display*) tersebut sehingga pengguna tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM.

Register control yang terdapat dalam suatu LCD diantaranya adalah :

- a. Register perintah yaitu register yang berisi perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD (*Liquid Cristal Display*) pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dibaca pada saat pembacaan data.
- b. Register data yaitu register untuk menuliskan atau membaca data dari atau keDDRAM. Penulisan data pada register akan menempatkan data tersebut keDDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.

Pin, kaki atau jalur input dan kontrol dalam suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) diantaranya adalah :

- a. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.
 - b. Pin RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika *low* menunjukan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika *high* menunjukan data.
 - c. Pin R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data.
 - d. Pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
 - e. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 Kohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke ground, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.
- (Vishay, 2004)

2.5. Mikrokontroler ATmega128

Mikrokontroller ATmega 128 merupakan mikrokontroller keluarga AVR yang mempunyai kapasitas flash memori 128KB. AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Secara umum, AVR dapat terbagi menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga AT-Mega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, bisa dikatakan hampir sama. Semua jenis AVR dilengkapi dengan *flash* memori sebagai memori program. Kapasitas dari *flash* memori ini berbeda

antara *chip* yang satu dengan *chip* yang lain, tergantung dari jenis IC yang digunakan. Untuk *flash* memori yang paling kecil adalah 1 kbytes (ATtiny11, ATtiny12, dan ATtiny15) dan paling besar adalah 128 kbytes (AT-Mega128).

Beberapa fitur yang dimiliki ATmega128 adalah sebagai berikut:

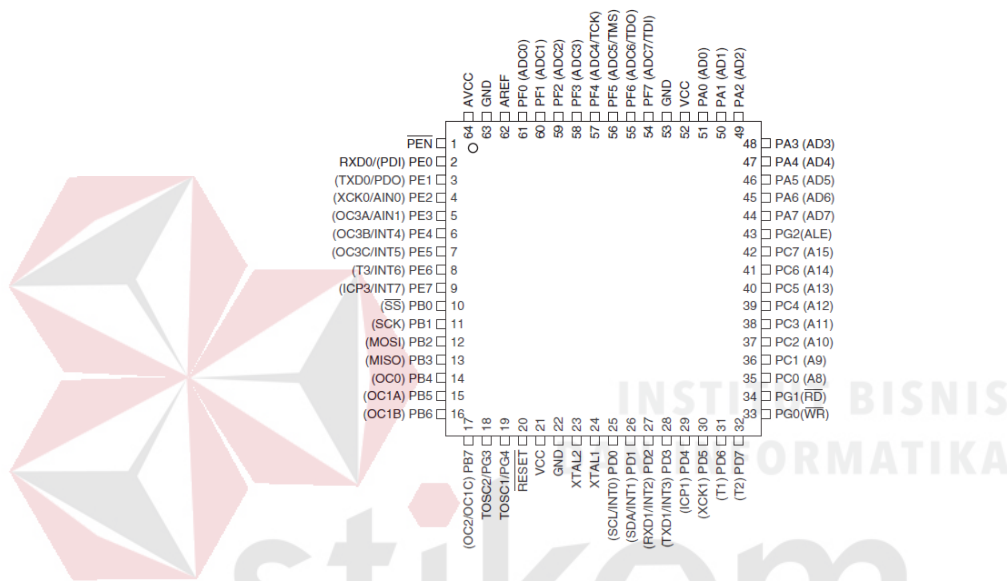
1. Mempunyai kinerja tinggi dengan konsumsi daya yang rendah
2. Arsitektur RISC
 - a. 130 instruksi kuat – *Most Single Clock Cycle Execution*
 - b. 32 x 8 *peripheral control registers*
 - c. Operasi statis
 - d. *Throughput* hingga 16 MIPS pada 16 MHz
 - e. *Multiplier 2-cycle on-chip*
3. Daya tahan tinggi dengan memori *non volatile*
 - a. 128K *bytes In-System Self-programmable Flash program memory*
 - b. 4K *bytes* EEPROM
 - c. 100,000 EEPROM dengan kemampuan 10.000 *write/erase cycle*
 - d. 4K *bytes* RAM internal
 - e. Memori eksternal hingga 64K *Bytes*
 - f. Penguncian program untuk keamanan sistem
 - g. *SPI Interface* untuk *In-System Programming*
4. JTAG *interface*
 - a. Kemampuan batas scan mengikuti standar JTAG
 - b. *Extensive On-chip Debug Support*
 - c. Pemrograman *Flash*, EEPROM, *Fuses* dan *Lock Bits* melalui *interface* JTAG

5. I/O dan paket
 - a. *53 programmable I/O lines*
 - b. *64-lead TQFP dan 64-pad QFN/MLF*
6. Tingkat kecepatan mulai dari 0 hingga 16MHz
7. Bekerja pada tegangan 4,5 – 5,5 Volt
8. Fitur spesial mikrokontroler
 - a. *Power-on reset dan deteksi programmable brown-out*
 - b. *Osilator RC kalibrasi internal*
 - c. *Interrupt source external dan internal*
 - d. *Enam mode Sleep: Idle, ADC noise reduction, Power-save, Power-down, Stand-by, dan Extended Stand-by*
 - e. *Software Selectable Clock Frequency*
 - f. *ATmega103 dapat berkerja sesuai mode yang dipilih pada fuses*
 - g. *Global Pull-up Disable*
9. Fitur *peripheral*
 - a. *Dua timer/counter 8-bit dengan separate prescalers dan compare modes*
 - b. *Dua timer/counter 16-bit dengan separate prescalers, compare modes, dan capture modes*
 - c. *Counter real time dengan osilator terpisah*
 - d. *Dua channels 8-bit PWM*
 - e. *8 channel, 10-bit ADC*
 - f. *Byte-oriented two-wire serial interface*
 - g. *Dual Programmable serial USART*
 - h. *Master/slave SPI serial interface*

- i. *Programmable Watchdog Timer* dengan Osilator *On-chip*
- j. *On-chip analog comparator*

(Atmel Cooperation, 2007)

Adapun konfigurasi pin pada mikrokontroler ATmega128 yang dapat digunakan dengan 64 pin dapat dilihat pada gambar 2.5:



Gambar 2.5. Konfigurasi Pin ATmega128. (Atmel Cooperation, 2007).

Dari gambar di atas dapat dijelaskan fungsi masing-masing pin pada mikrokontroler ATmega128 sebagai berikut:

1. VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai masukan catu daya
2. GND merupakan pin *ground*
3. Port A (PortA0...PortA7) merupakan pin *input/output* dua arah
4. Port B (PortB0...PortB7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Fungsi Khusus Port B.

| Pin | Fungsi Khusus |
|-----|--|
| PB7 | OC2 (<i>Timer/Counter Output Compare Match Output</i>) |

| | |
|-----|--|
| | OC1C (<i>Timer/Counter1 Output Compare C Match Output</i>) |
| PB6 | OC1B (<i>Timer/Counter1 Output Compare B Match Output</i>) |
| PB5 | OC1A (<i>Timer/Counter1 Output Compare A Match Output</i>) |
| PB4 | OC0 (<i>Timer/Counter0 Output Compare Match Output</i>) |
| PB3 | MISO (<i>SPI Bus Master Input/ Slave Output</i>) |
| PB2 | MOSI (<i>SPI Bus Master Output/ Slave Input</i>) |
| PB1 | SCK (<i>SPI Bus Serial Clock</i>) |
| PB0 | SS (<i>SPI Slave Select Input</i>) |

5. Port C (PortC0...PortC7) merupakan pin *input/output* dua arah
6. Port D (PortD0...PortD7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus, seperti dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Fungsi Khusus Port D

| Pin | Fungsi Khusus |
|-----|---|
| PD7 | T2 (<i>Timer/ Counter2 External Counter Input</i>) |
| PD6 | T1 (<i>Timer/ Counter1 External Counter Input</i>) |
| PD5 | XCK1 (<i>USART External Clock Input/Output</i>) |
| PD4 | ICP1 (<i>Timer/Counter1 Input Capture Pin</i>) |
| PD3 | TXD1 (<i>USART1 Output Pin</i>) INT3 (<i>External Interrupt 3 Input</i>) |
| PD2 | RXD1 (<i>USART1 Input Pin</i>) INT0 (<i>External Interrupt 0 Input</i>) |
| PD1 | SDA (<i>Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line</i>) |
| PD0 | SCL (<i>Two-wire Serial Bus Clock Line</i>) |

7. Port E (PortE0...PortE7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus, seperti yang terlihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Fungsi Khusus Port E.

| Pin | Fungsi Khusus |
|-----|--|
| PE7 | ICP3 (<i>Timer/Counter3 Input Capture Pin</i>) INT7 (<i>External Interrupt 7 Input</i>) |
| PE6 | T3 (<i>Timer/ Counter3 External Counter Input</i>) INT6 (<i>External Interrupt 6 Input</i>) |
| PE5 | OC3C (<i>Timer/Counter3 Output Compare C Match Output</i>) INT5 (<i>External Interrupt 5 Input</i>) |
| PE4 | OC3B (<i>Timer/Counter3 Output Compare B Match Output</i>) INT4 (<i>External Interrupt 4 Input</i>) |
| PE3 | OC3A (<i>Timer/Counter3 Output Compare A Match Output</i>) |

| | |
|-----|--|
| | AIN1 (<i>Analog Comparator Negative Input</i>) |
| PE2 | XCK0 (<i>USART0 External Clock Input/Output</i>) AIN0 (<i>Analog Comparator Positive Input</i>) |
| PE1 | TXD0(<i>USART0 Output Pin</i>) |
| PE0 | RXD0 (<i>USART0 Input Pin</i>) |

8. Port F (PortF0...PortF7) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin masukan ADC serta pin khusus seperti yang terlihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Fungsi Khusus Port E.

| Pin | Fungsi Khusus |
|-----|--|
| PF7 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) TDI (<i>JTAG Test Data Out</i>) |
| PF6 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) TDO (<i>JTAG Test Data In</i>) |
| PF5 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) TMS (<i>JTAG Test Mode Select</i>) |
| PF4 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) TCK (<i>JTAG Test Clock</i>) |
| PF3 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) |
| PF2 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) |
| PF1 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) |
| PF0 | ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>) |

9. Port G (PortG0...PortG4) merupakan pin *input/output* dua arah dan pin fungsi khusus, seperti yang terlihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Fungsi Khusus Port G.

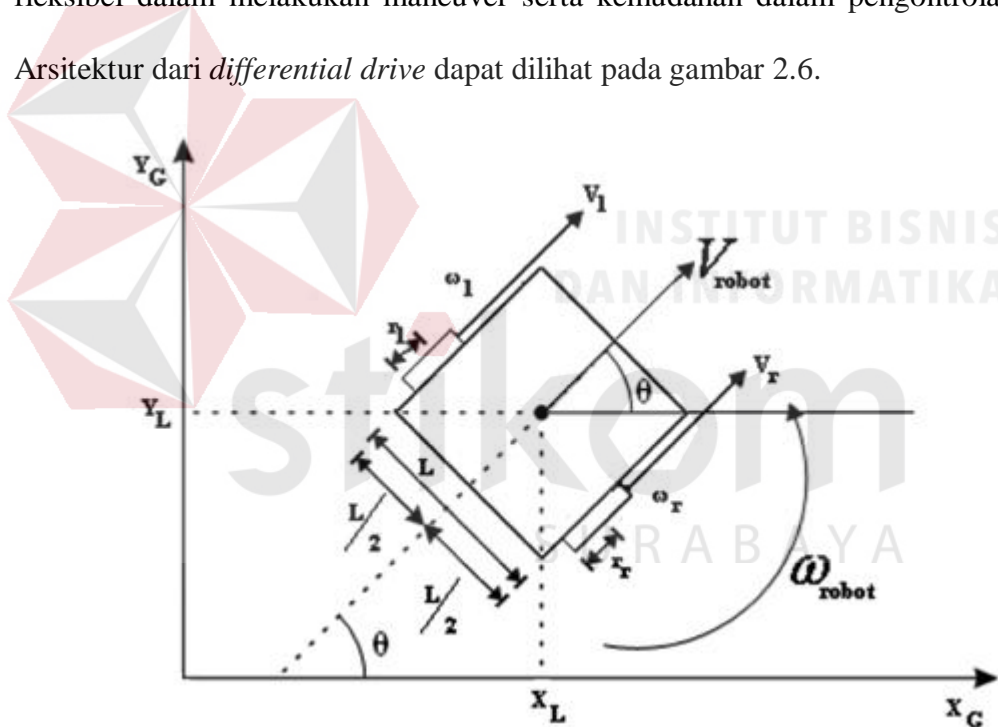
| Pin | Fungsi Khusus |
|-----|---|
| PG4 | TOSC1 (<i>Timer Oscillator Pin1</i>) |
| PG3 | TOSC2 (<i>Timer Oscillator Pin2</i>) |
| PG2 | ALE (<i>Adreess Latch Enable</i>) |
| PG1 | RD (<i>External Data Memory Read Strobe</i>) |
| PG0 | WR (<i>External Data Memory Write Strobe</i>) |

10. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler
11. PEN berfungsi mengaktifkan pin untuk mode Pemrograman Serial SPI

12. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal
13. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC
14. AREFF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC

2.6. Penggerak Diferensial Robot

Salah satu jenis *mobile robot* yang umum digunakan, terutama untuk dioperasikan dalam ruangan adalah dengan pengemudian atau sistem penggerak diferensial (*differential drive*). Alasan utamanya karena relative dan lebih fleksibel dalam melakukan manuever serta kemudahan dalam pengontrolannya. Arsitektur dari *differential drive* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Posisi dan orientasi *mobile robot* dalam sistem koordinat cartesian.

Kecepatan linier *mobile robot* pada masing-masing roda kanan dan kiri berturut-turut adalah V_R dan V_L . Kecepatan rotasi masing-masing roda dengan jari-jari r adalah ω_R dan ω_L sesuai dengan persamaan 2.8 dan 2.9 berikut:

$$\omega_R(t) = \frac{V_R(t)}{r} \quad (2.8)$$

$$\omega_L(t) = \frac{V_L(t)}{r} \quad (2.9)$$

Ketika robot melakukan gerakan memutar (berotasi) sesaat dengan panjang jari-jari R diukur dari pusat rotasi dan titik pusat kedua titik maka kecepatan rotasi disetiap titik robot tersebut selali sama (robot adalah sistem mekanis yang rigid), sehingga persamaan 2.10 dan 2.11 berikut ini berlaku untuk menghitung kecepatan rotasi dari robot tersebut:

$$\omega(t) = \frac{V_R}{R+L/2} \quad (2.10)$$

$$\omega(t) = \frac{V_L}{R-L/2} \quad (2.11)$$

Berdasarkan persamaan 2.10 dan 2.11 kecepatan rotasi robot tersebut dapat dihitung hanya berdasarkan informasi dari kedua kecepatan linier roda robot tersebut:

$$\omega(t) = \frac{V_R \cdot t - V_L \cdot t}{L} \quad (2.12)$$

Sedangkan jari-jari dapat dicari dengan:

$$R = \frac{L(V_R + V_L)}{2(V_R - V_L)} \quad (2.13)$$

Dari persamaan 2.13, jari-jari lintasan lingkaran sesaat berbanding terbalik dengan selisih kedua kecepatan roda robot. Semakin kecil selisih kedua kecepatan roda maka jari-jari lingkaran sesaat yang dibentuk oleh lintasan robot tersebut semakin panjang dan sebaliknya. Sedangkan jika kecepatan linier roda kiri maka $R = \infty$, atau secara praktis robot akan bergerak membentuk lintasan yang lurus. Agar robot dapat berotasi pada pusat sumbunya ($R=0$) maka berdasarkan persamaan 2.13, kecepatan kedua roda tersebut harus berlawanan.

Berdasarkan persamaan 2.12 dan 2.13, maka kecepatan linier robot dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14 berikut:

$$R = \frac{V_R(t) + V_L(t)}{2} \quad (2.14)$$

Agar lebih sederhana, persamaan 2.12 dan 2.14 dapat dikumpulkan dalam bentuk persamaan matrik vektor sebagaimana berikut:

$$\begin{pmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/L & -1/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

Persamaan 2.15 pada dasarnya memperlihatkan relasi antara kecepatan linier roda-roda robot terhadap kecepatan linier dan angular robot, sedangkan persamaan 2.16 berikut akan memperlihatkan relasi sebaliknya.

$$\begin{pmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/L & -1/L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

Dengan mengetahui kecepatan linier dan angular robot setiap saat, maka kecepatan pada setiap sumbu kartesian dapat dicari dengan cara memproyeksikan vektor kecepatan robot pada sumbu-sumbu tersebut. (Utomo, 2007)

Mobile robot tipe penggerak diferensial memiliki 2 buah roda penggerak yang terpisah (kanan dan kiri). Kedua roda ini digerakkan oleh motor DC yang ditempatkan pada satu sumbu secara terpisah. Sehingga kedua roda ini berfungsi sebagai penggerak sekaligus sebagai kemudi mobile robot. Sehingga tingkat keluwesan robot dan kemampuan manuver mobile robot tipe penggerak diferensial jauh lebih baik.

Jika kedua roda didorong dalam arah yang sama dan kecepatan sama pula, robot akan bergerak dalam garis lurus. Jika tidak, tergantung pada kecepatan rotasi dan arahnya, pusat rotasi bisa jatuh di mana saja di garis yang menghubungkan dua roda. Karena arah robot tergantung pada kecepatan dan arah

putaran dari dua roda yang digerakkan. Jika kedua roda berputar dengan kecepatan yang sama dalam arah yang berlawanan, robot akan berputar di titik pusat sumbu. (Hartanti, 2011)

2.7. Dagu Rover 5 4WD

Rover 5 adalah generasi baru *chassis* robot yang dirancang khusus untuk kepentingan penelitian dan hobi. Tidak seperti *chassis* yang konvensional, sudut kaki-kaki dapat disesuaikan dengan memutar gearbox secara bertahap yang mempunyai 5 tingkatan. Elastisitas pada tapak karet mempertahankan ketegangan pada saat sudut kaki dinaikkan.

Setiap gearbox memiliki rasio 87:1 yang memiliki encoder quadrature optik yang memberikan 1000 pulsa dari tiap 3 putaran dari poros output. Chassis dapat ditingkatkan dengan menggunakan empat motor dan encoder sehingga ideal untuk roda mecanum.

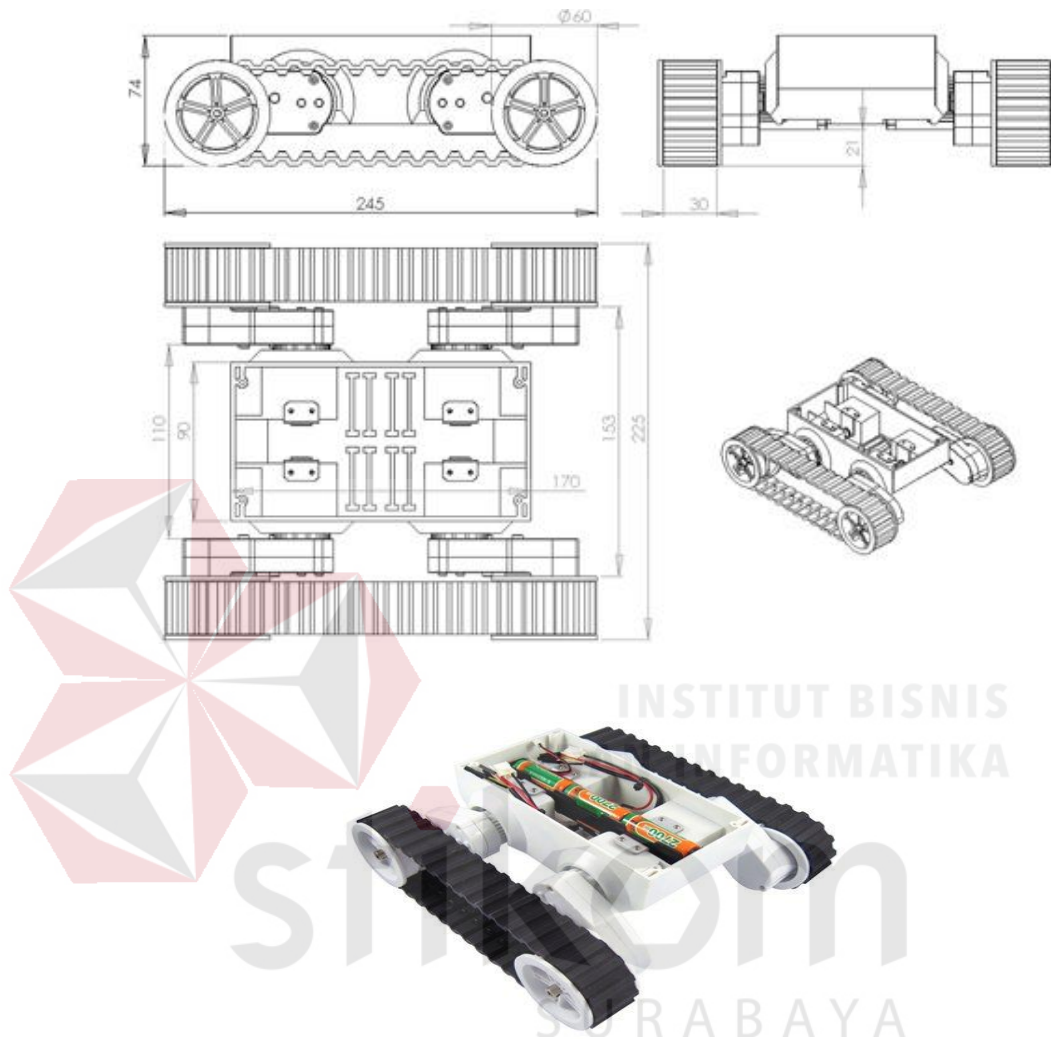
Di dalam chassis ini terdapatudukan baterai yang menerima 6x AA baterai. Disarankan untuk menggunakan baterai NiMH karena lebih tahan lama dan memiliki output arus yang lebih tinggi daripada baterai Alkaline.

spesifikasi:

1. Tegangan motor: 7.2V
2. Arus motor maksimal: 2.5A
3. Poros keluaran torsi stall: 10Kg/cm
4. Rasio Gearbox: 86.8:1
5. Jenis encoder: Quadrature
6. Resolusi Encoder: 1000 perubahan pulsa per 3 rotasi roda

7. Kecepatan: 1Km/hr

8. Dimensi:



Gambar 2.7. Daguer 5 4WD.

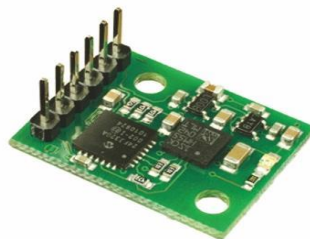
2.8. CMPS10 Tilt Compensated Magnetic Compass

CMPS10 *Tilt Compensated Magnetic Compass* merupakan sebuah modul kompas digital yang cocok digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kemampuan navigasi. Modul kompas ini dibangun berdasarkan kontroler 16-bit, magnetometer 3-axis serta accelerometer 3-axis. Magnetometer 3-axis digunakan

untuk menentukan arah mata angin, sedangkan accelerometer 3-axis digunakan untuk menentukan tingkat kemiringan modul pada saat proses pengukuran. Proses penentuan arah mata angin serta koreksi error data terhadap kemiringan dilakukan oleh kontroler yang sudah terintegrasi pada modul CMPS10 Tilt Compensated Magnetic Compass. Hal ini tentu akan memudahkan pengembangan aplikasi karena user hanya perlu memikirkan cara kerja dari aplikasi utama.

Spesifikasi :

1. Tegangan kerja : 3.3 VDC - 5 VDC / 25 mA (typ).
2. Resolusi : 0.1 derajat.
3. Akurasi : horizontal 0.5% (typ), miring +/- 60 derajat 1% (typ).
4. Mendukung antarmuka :
 - a. I2C 100kHz (SMBus compatible).
 - b. Serial UART (9600bps, no parity, 2 stop bits) dengan level tegangan TTL (3.3 VDC - 5 VDC).
 - c. Pulsa dengan lebar 1 ms - 37 ms (0.1 mS increments).
5. Terdapat keluaran data mentah dari magnetometer dan accelerometer.
6. Menggunakan header dengan pitch 2.54mm yang memudahkan pemasangan pada sistem user.
7. Dimensi : 24.5mm x 18.5mm. (ELECTRONICS, 2010)

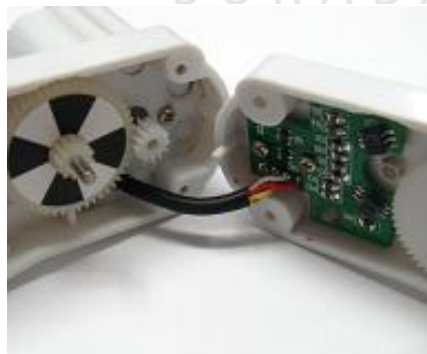


Gambar 2.8. CMPS10 Tilt Compensated Magnetic Compass.

2.9. Rotary Encoder

Rotary encoder adalah perangkat elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* pada umumnya menggunakan sensor *optic* untuk menghasilkan sinyal yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. *Rotary encoder* tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan.

LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu photo-transistor diletakkan sehingga *photo-transistor* ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai *photo-transistor* melalui lubang-lubang yang ada, maka *photo-transistor* akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu sinyal gelombang persegi. Semakin banyak deretan pulsa yang dihasilkan pada satu putaran menentukan akurasi *rotary encoder* tersebut. (Rizqiawan, 2009)

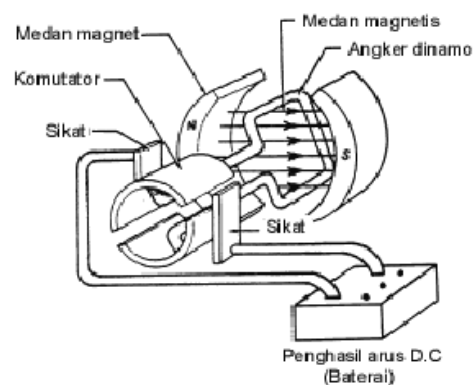


Gambar 2.9. *Rotary encoder*.

2.10. Motor DC

Motor DC merupakan motor arus searah yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah (listrik DC) menjadi tenaga gerak atau mekanik (Sumanto, 1984). Motor DC banyak ditemukan pada peralatan rumah tangga seperti mixer, blender, pemutar tape, dll. Selain itu motor DC juga digunakan dalam industri misalkan untuk mengaduk adonan, memutar konveyor, dll.

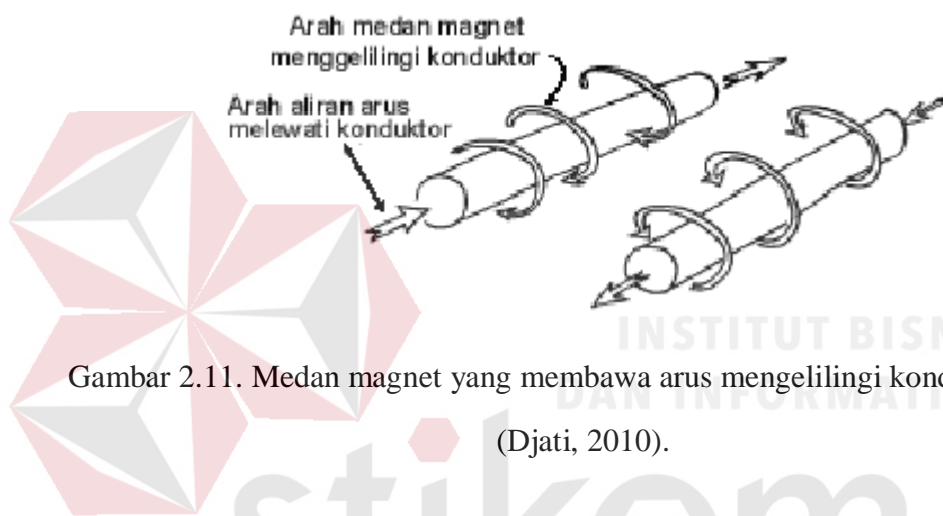
Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Motor DC Sederhana (Sumanto, 1994).

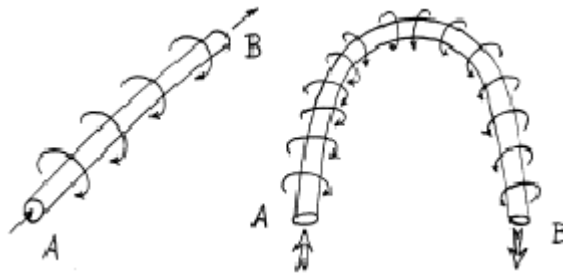
Catu tegangan DC dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut rotor dinamo. Rotor dynamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor seperti pada gambar 2.11. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



Gambar 2.11. Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor (Djati, 2010).

Aturan Genggaman Tangan Kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 2.12 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berubah arah karena bentuk U. Pada motor listrik konduktor berbentuk U disebut angker dinamo.



Gambar 2.12. Konduktor Berbentuk U (Djati, 2010).

Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) diletakkan di antara kutub utara dan selatan yang kuat medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Reaksi garis Fluks (Djati, 2010).

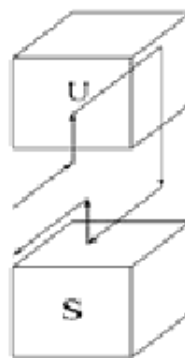
Lingkar bertanda A dan B pada gambar 2.13 merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (*looped conductor*). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B. Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat

tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum :

- a. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- b. 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.
- c. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan.
- d. 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.

Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Prinsip kerja motor DC (Djati, 2010).

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor. Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban dalam hal ini mengacu kepada keluaran tenaga putar / torque sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok :

- a. Beban torque konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun torquency tidak bervariasi. Contoh beban dengan torque konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.
- b. Beban dengan variabel torque adalah beban dengan torque yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel torque adalah pompa sentrifugal dan fan (torque bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).
- c. Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan torque yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

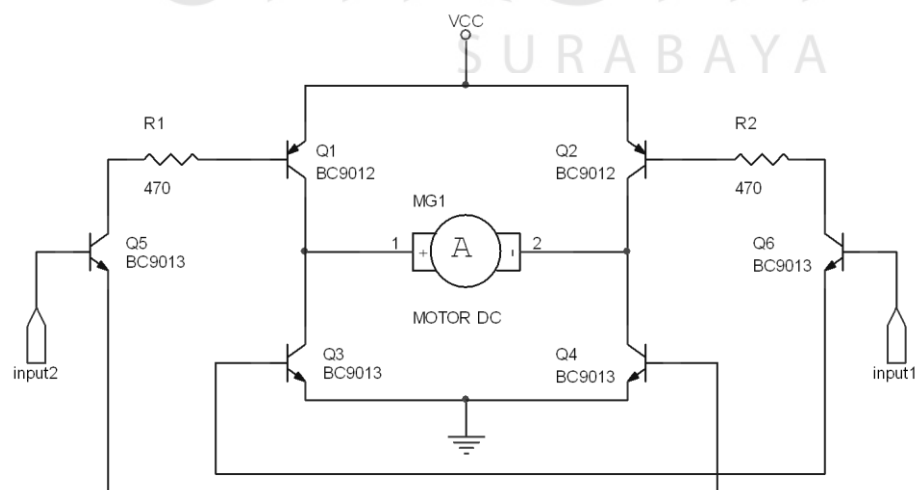
Untuk menentukan arah putaran motor digunakan kaedah Fleming tangan kiri. Kutub-kutub magnet akan menghasilkan medan magnet dengan arah dari kutub utara ke kutub selatan. Jika medan magnet memotong sebuah kawat penghantar yang dialiri arus searah dengan empat jari, maka akan timbul gerak searah ibu jari. Gaya ini disebut gaya Lorentz, yang besarnya sama dengan F .

Prinsip motor adalah aliran arus di dalam penghantar yang berada di dalam pengaruh medan magnet akan menghasilkan gerakan. Besarnya gaya pada penghantar akan bertambah besar jika arus yang melalui penghantar bertambah besar.

2.11. Pengendali Motor

Pengendali motor (*motor driver*) adalah rangkaian komponen yang dapat mengatur kinerja putaran motor. Dengan menggunakan motor driver, pengendalian motor meliputi *men-start*, *men-stop*, dan memilih arah perputaran. Selain itu dapat juga mengatur kecepatan putar motor dan mencegah terjadinya kelebihan beban arus pada motor. Penggunaan *motor driver* disesuaikan dengan jenis dan besar arus dari motor yang akan dikendalikan.

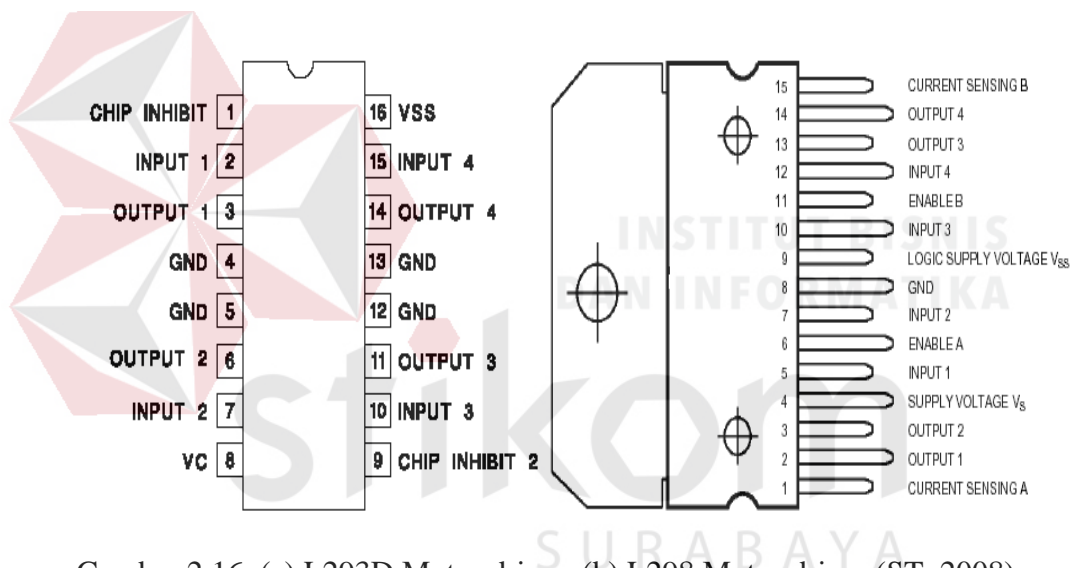
H-Bridge adalah salah satu contoh rangkaian *motor driver*. Susunan dasar dari rangkaian tersebut adalah beberapa transistor yang terangkai menyerupai huruf 'H'. Oleh karena itu, rangkaian tersebut dinamakan H-Bridge.



Gambar 2.15. Rangkaian dasar *H-Bridge motor driver*.

Sesuai dengan gambar 2.15, motor DC akan berputar jika salah satu transistor NPN (Q3 atau Q4) dan salah satu transistor PNP (Q1 atau Q2) aktif bersamaan. Untuk membuat hal tersebut, maka perlu diaktifkannya salah satu transistor Q5 atau Q6, yaitu dengan memberikan tegangan masukan pada kaki basis (*input 1* atau *input 2*).

Saat ini rangkaian H-Bridge *motor driver* telah dikemas dalam bentuk IC, seperti IC LM293D dan IC LM298. Masing-masing IC tersebut memiliki kemampuan menghantarkan sejumlah arus yang berbeda.

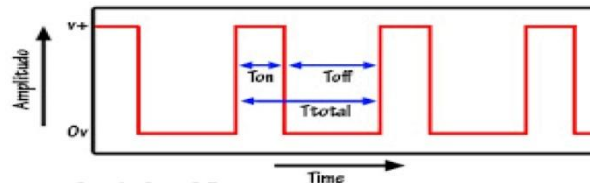


Gambar 2.16. (a) L293D Motor driver, (b) L298 Motor driver (ST, 2008)

2.12. Pulse Width Modulation (PWM)

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah metode yang cukup efektif untuk mengendalikan kecepatan motor DC. PWM ini bekerja dengan cara membuat gelombang persegi yang memiliki perbandingan pulsa *high* terhadap pulsa *low* yang telah tertentu biasanya diskalakan dari 0 hingga 100 % gelombang persegi ini memiliki frekuensi tetap (biasanya max 10 KHz) namun lebar pulsa *high* dan *low* dalam 1 periode yang akan diatur. Perbandingan pulsa *high* terhadap

low ini akan menentukan jumlah daya yang diberikan kemotor DC. Pada gambar 2.17 kita dapat melihat sinyal PWM dan rumus perhitungannya.



Gambar 2.17. Sinyal PWM

Rumus perhitungannya :

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.17)$$

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.18)$$

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.19)$$

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.20)$$

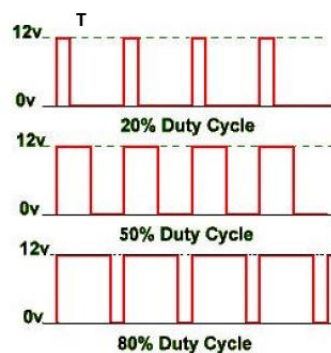
Dengan keterangan :

T_{on} = Waktu pulsa “High”

T_{off} = Waktu pulsa “Low”

D = Duty cycle adalah lamanya pulsa high dalam satu perioda

Pada gambar 2.18 dapat dilihat bagaimana pengendalian dengan *pulse Width Modulation* (PWM).



Gambar 2.18. Pengendalian Pulse Width Modulation (PWM)