

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Robot Cerdas Pemadam Api

Robot cerdas pemadam api diciptakan sebagai salah satu bentuk pengembangan dari pemanfaatan aplikasi mikrokontroler sebagai media pemrosesan data (*controller*). Seperti yang telah kita ketahui bersama, bahwa di Indonesia pada tiap tahunnya diselenggarakan ajang kompetisi robot (KRCI) yang terbagi menjadi beberapa divisi yaitu beroda (*wheeled robot*), berkaki (*legged robot*) dan *expert*. Dimana sebagai penyelenggara kontes robot ini yaitu dari Direktorat Jendral Perguruan Tinggi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas atau kinerja robot terutama pada sistem kontrolnya. Pada KRCI divisi beroda dan berkaki memiliki tugas yang sama yaitu menemukan api yang terletak pada suatu ruangan tertentu (acak) dan memadamkannya.

Sesuai dengan aturan main pada KRCI 2008, robot harus melintasi beberapa lorong yang terdapat pada sebuah miniatur rumah (*labirin*). Miniatur rumah yang disediakan terdiri dari 4 (empat) ruangan, dimana setiap ruangan memiliki jumlah titik api yang berbeda-beda. Sehingga secara keseluruhan terdapat 11 (sebelas) kemungkinan titik api pada satu kali *trial robot*. Dalam pencarian ruangan guna menemukan titik api, robot harus mampu melewati beberapa rintangan sesuai dengan aturan pada saat pertandingan yang diantaranya terdiri dari cermin, *sound dumper*, *clutter*, *furniture* dan *uneven floor*. Robot yang memiliki catatan waktu singkat dalam menemukan sekaligus memadamkan api dan yang memiliki jumlah nilai terkecil adalah pemenang dalam kompetisi ini.

Agar robot dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, maka dibutuhkan suatu sistem kendali yang dapat menunjang kinerja robot dan didukung dengan penggunaan beberapa sensor sebagai *navigator*-nya. Dengan sistem kendali yang telah dirancang sedemikian rupa, diharapkan robot mampu menyelesaikan tugasnya dengan ketepatan, kecepatan dan tentunya memiliki tingkat kecerdasan buatan yang tinggi dalam setiap pengambilan keputusan menghadapi rintangan yang diberikan.

Sistem kerja robot dibagi menjadi 3 (tiga) bagian penting yaitu *input*, *process* dan *output*. Pada bagian *input*, terdapat beberapa sensor pendukung diantaranya, sensor optik GP2D12, sensor PING))) (*ultrasonic*), *UVTron (Flame Detector)*, *White Line Sensor*, sensor *magnetic compas* dan *sound activation*. Semua sensor ini akan difungsikan sebagai komponen pengirim informasi baik berupa data *analog* maupun *digital*, dimana semua data akan diproses menggunakan mikrokontroler jenis AVR ATmega8535. Sedangkan data hasil pemrosesan akan diumpankan ke bagian *driver* motor DC (penggerak roda), *driver* motor DC (penggerak kipas) dan motor servo.

2.2 Mikrokontroler AVR ATmega8535

Mikrokontroler atau *single chip microcomputer* merupakan sebutan yang umum diberikan pada suatu komponen (berupa rangkaian terintegrasi) yang terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), ROM, RAM, dan I/O. Pada perkembangan teknologi khususnya dunia elektronika, penemuan silikon menyebabkan bidang ini mampu memberikan sumbangan yang amat berharga bagi perkembangan

teknologi modern. *Atmel* sebagai salah satu *vendor* yang mengembangkan dan memasarkan produk mikro elektronika telah menjadi suatu teknologi standar bagi perancang sistem elektronika masa kini. Dengan perkembangan terakhir, yaitu generasi AVR (*Alf And Vegard's Risc*), perancangan sistem elektronika telah diberi kapabilitas yang amat maju dengan biaya ekonomis yang cukup minimal.

Perbedaan yang paling menonjol antara mikrokomputer seperti IBM PC dengan *single chip microcomputer* adalah penggunaan perangkat *input/output* dan media penyimpanan programnya. IBM PC dan kompatibelnya menggunakan *disk* atau *tape* sebagai media penyimpanan programnya serta perangkat *input/output* banyak digunakan untuk berkomunikasi dengan pemakai. Sedangkan *single chip microcomputer* lebih sering menggunakan ROM atau EEPROM sebagai media penyimpanan programnya dan perangkat *input/output* bukan hanya digunakan untuk berkomunikasi dengan pemakai, tetapi juga untuk memonitor dan mengontrol mekanisme proses pada peralatan yang dikontrolnya.

Mikrokontroler AVR memiliki arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bit *word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*. Hal ini dikarenakan kedua jenis mikrokontroler tersebut memiliki arsitektur yang berbeda. AVR berteknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) kelas, yaitu kelompok ATtiny, kelompok AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan

masing-masing kelas adalah kapasitas memori, *peripheral*, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan bisa dikatakan hampir sama.

2.2.1 Fitur ATmega8535

- a. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16MHz.
- b. Kapabilitas *memory flash* 8 KB, SRAM sebesar 512 *byte*, dan EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 512 *byte*.
- c. ADC *internal* dengan fidelitas 10 bit sebanyak 8 *channel*.
- d. Portal komunikasi serial (USART) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps.
- e. Enam pilihan *mode sleep* menghemat penggunaan daya listrik.

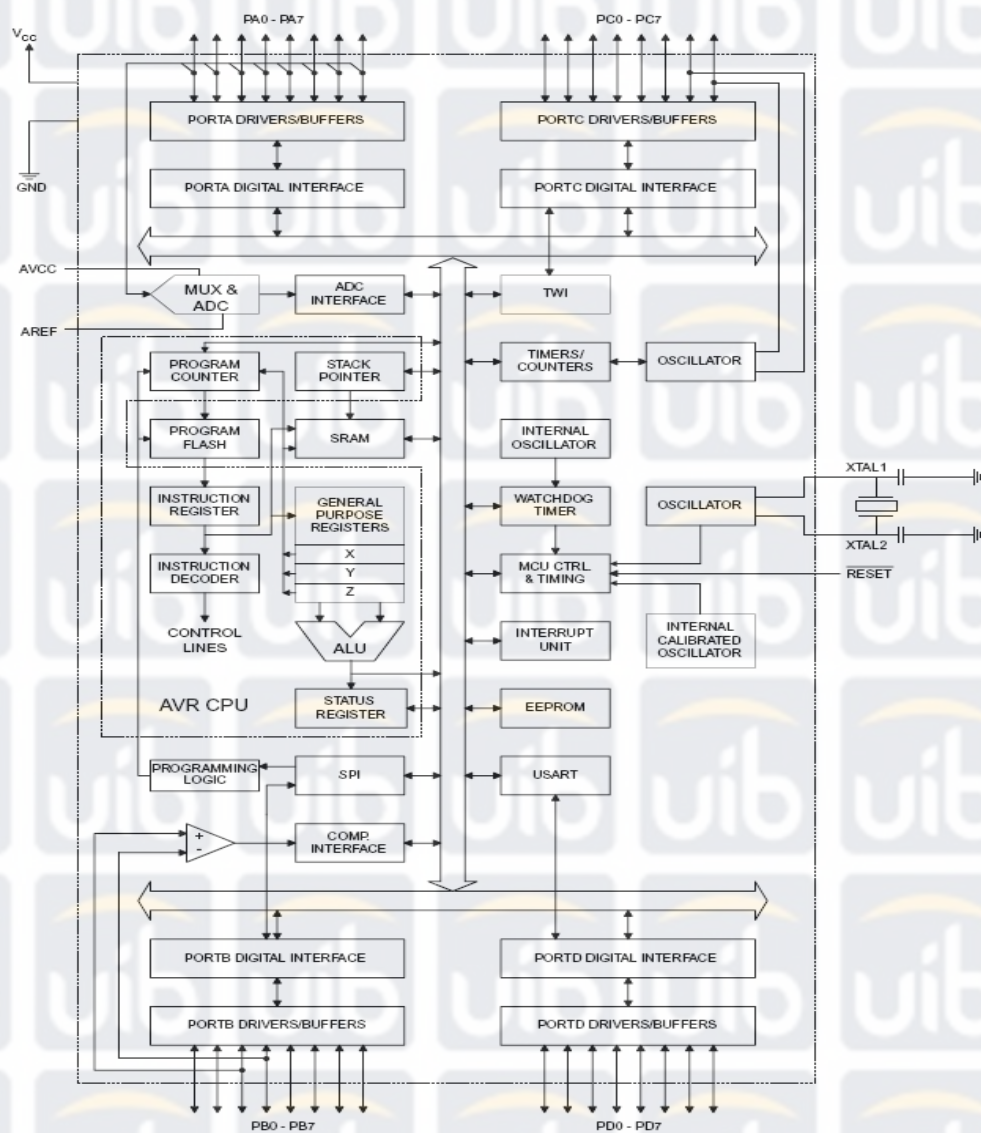
2.2.2 Arsitektur ATmega8535

Dapat dilihat pada Gambar 2.1, dimana ATmega8535 memiliki beberapa fasilitas yang dapat digunakan diantaranya:

- a. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *port A*, *port B*, *port C* dan *port D*.
- b. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
- c. Tiga buah *timer/counter* dengan kemampuan perbandingan.
- d. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
- e. *Watchdog timer* dengan *internal oscillator*.
- f. SRAM sebesar 512 *byte*.
- g. Memori *flash* sebesar 8 Kb dengan kemampuan *Read While Write*.

- h. Unit interupsi *internal & external*.
- i. *Port* antar muka SPI.
- j. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi.
- k. Antarmuka komparator *analog*.
- l. *Port* USART untuk komunikasi serial.

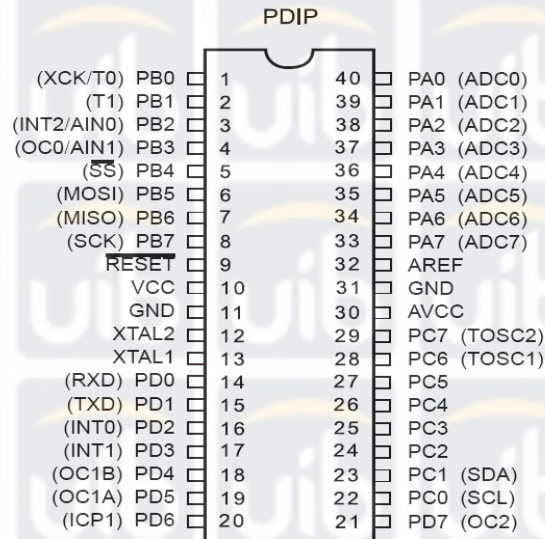
Gambar 2.1
Blok Diagram ATmega8535



Sumber: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf

2.2.3 Konfigurasi Pin AVR Seri ATmega8535

Gambar 2.2
Konfigurasi Pin ATmega8535



Sumber: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf

Konfigurasi pin ATmega8535 bisa dilihat pada Gambar 2.2. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan secara fungsional konfigurasi pin ATmega8535 sebagai berikut:

- VCC merupakan pin yang berfungsi sebagai pin masukan catu daya.
- GND merupakan pin *ground*.
- Port A (PA0 s.d PA7) merupakan pin I/O dua arah dan masukan ADC.
- Port B (PB0 s.d PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, komparator *analog*, dan SPI.
- Port C (PC0 s.d PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin khusus, yaitu komparator *analog*, dan *Timer Oscillator*.

- f. *Port D* (PD0 s.d PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu komparator *analog*, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
- g. *RESET* merupakan pin yang digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler.
- h. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan *clock* eksternal.
- i. AVCC merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.
- j. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

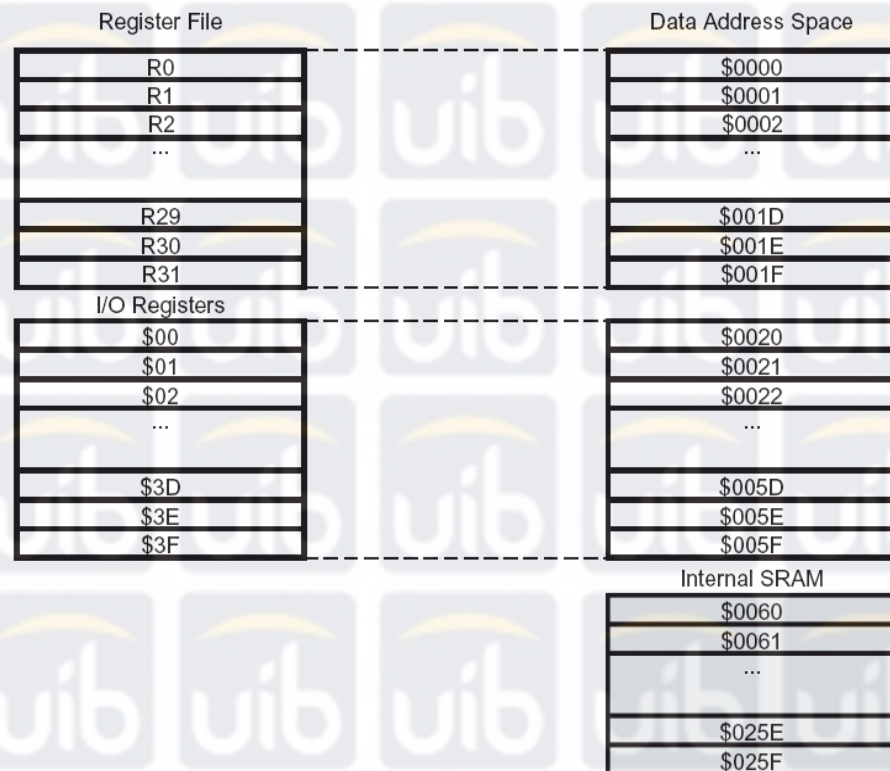
2.2.4 Peta Memori

AVR ATMega8535 memiliki ruang pengalamatan memori data dan memori program yang terpisah. Memori data terbagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu 32 buah *register* umum, 64 buah *register I/O*, dan 512 *byte* SRAM *internal*.

Register keperluan umum menempati *space* data pada alamat terbawah, yaitu \$00 sampai \$1F. Sementara itu, *register* khusus untuk menangani I/O dan kontrol terhadap mikrokontroler, menempati 64 alamat berikutnya, yaitu mulai dari \$20 hingga \$5F. *Register* tersebut merupakan *register* yang khusus digunakan untuk mengatur fungsi terhadap berbagai *peripheral* mikrokontroler, seperti kontrol *register*, *timer/counter*, fungsi-fungsi I/O, dan sebagainya. Alamat memori berikutnya digunakan untuk SRAM 512 *byte*, yaitu pada lokasi \$60 sampai dengan \$25F. Untuk konfigurasi memori data dapat dilihat pada Gambar 2.3.

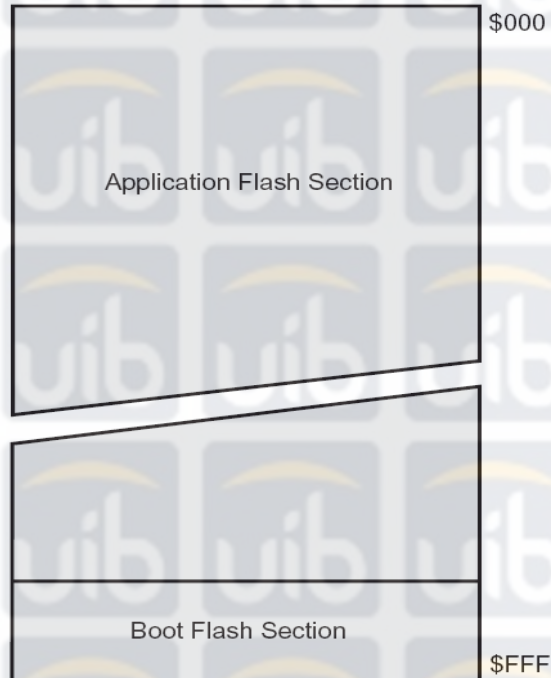
Memori program yang terletak dalam *Flash* PEROM tersusun dalam *word* atau 2 (dua) *byte* karena setiap instruksi memiliki lebar 16-bit atau 32-bit. AVR ATmega 8535 memiliki 4Kbyte X16-bit *Flash* PEROM dengan alamat mulai dari \$000 sampai \$FFF. AVR tersebut memiliki 12 bit *Program Counter* (PC) sehingga mampu mengamati isi *Flash*. Lihat Gambar 2.4.

Gambar 2.3
Konfigurasi Memori Data AVR ATmega8535



Sumber: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf

Gambar 2.4
Memori Program AVR ATmega 8535



Sumber: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf

Selain itu, AVR ATmega8535 juga memiliki memori data berupa EEPROM 8-bit sebanyak 512 *byte*. Alamat EEPROM dimulai dari \$000 sampai \$1FF yang dapat dilihat pada lampiran (*data sheet*).

2.2.5 Status Register (SREG)

Merupakan *register* berisi status yang dihasilkan pada setiap operasi yang dilakukan ketika suatu instruksi dieksekusi. SREG merupakan bagian dari inti CPU mikrokontroler.

Gambar 2.5
Status register AVR ATmega8535

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	I	T	H	S	V	N	Z	C	SREG
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Sumber: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf

a. Bit 7 – I : *Global Interrupt Enable*

Bit harus di-*set* untuk meng-*enable* interupsi. Setelah itu, kita dapat mengaktifkan interupsi mana yang akan anda gunakan dengan cara meng-*enable* bit kontrol *register* yang bersangkutan secara individu.

Bit akan di-*clear* apabila terjadi suatu interupsi yang dipicu oleh *hardware*, dan bit tidak akan mengizinkan terjadinya interupsi, serta akan di-*set* kembali oleh RETI.

b. Bit 6 – T: *Bit Copy Storage*

Instruksi BLD dan BST menggunakan bit-T sebagai sumber atau tujuan dalam operasi bit. Suatu bit dalam sebuah *register* GPR dapat disalin ke bit T menggunakan instruksi BST, dan sebaliknya bit-T dapat disalin kembali ke suatu bit dalam *register* GPR menggunakan instruksi (BLD) .

c. Bit – H: *Half carry flag*

d. Bit-S : *Sign Bit*

Bit-S merupakan hasil operasi EOR antara *flag-N* (negatif) dan *flag V* (komplemen dua *overflow*).

e. Bit-3 – V : *Two's Complement Overflow Flag*

Bit berguna untuk mendukung operasi aritmatika.

f. Bit 2 – N: *Negative Flag*

Apabila suatu operasi menghasilkan bilangan negatif, maka *flag-N* akan di-*set*.

g. Bit 1 – Z: *Zero Flag*

Bit akan di-*set* bila hasil operasi yang diperoleh adalah nol.

h. Bit 0 –C: *Carry Flag*

Apabila suatu operasi menghasilkan *carry*, maka bit akan di-*set*.

2.2.6 Pengarah Assembler

Pengarah *Assembler* berguna untuk mengubah penunjuk kode *assembly*. Sebagai contoh, kita dapat mengubah lokasi kode **.asm** kita pada memori program, memberi label pada SRAM, atau mendefinisikan suatu konstanta menggunakan sintaksis pengarah *assembler*. Berikut beberapa sintaksis pengarah *assembler* yang terdapat pada AVR ATmega 8535 yaitu:

a. **.cseg (code segment)**; pengarah ini berguna sebagai penunjuk bahwa

kode atau ekspresi di bawahnya diletakkan pada memori program.

Pengarah ini biasanya digunakan setelah pengarah **.dseg**.

b. **.db (data byte)**; pengarah ini memungkinkan kita dapat meletakkan

konstanta, seperti *serial number* dan *look-up table* di memori program pada alamat tertentu.

- c. **.dw (data word)**; pengarah ini sama seperti data *byte*, tetapi dalam ukuran *word*.
- d. **.org**; digunakan untuk mengeset program *counter* pada alamat tertentu. Digunakan pada awal program **.org 0x0000** atau pengarah pada vektor interupsi, misalnya vektor interupsi untuk interupsi eksternal 1, maka alamat vektor interupsinya **.org 0x0002**.
- e. **.byte**; digunakan untuk inialisasi besar *byte* yang digunakan pada SRAM untuk label tertentu.
- f. **.dseg (data segmen)**; pengarah ini berguna untuk penunjuk bahwa kode di bawahnya berfungsi untuk melakukan *setting* SRAM.
- g. **.def (define)**; pengarah ini memungkinkan suatu *register* dapat didefinisikan, Contoh: `.def temp = r16`.
- h. **.equ**; berguna untuk memberi nama suatu konstanta yang tidak dapat berubah. Contoh: `.equ max = 19200`.
- i. **.set**; sama seperti `.equ` tetapi konstantanya dapat diubah.
Contoh : `.set baud = 2400`
`.set baud = 9600`
- j. **.endm (end macro)**; untuk mengakhiri *macro*.
- k. **.include**; untuk men-*include*-kan sebuah *file* kedalam program agar program lebih cepat dimengerti, atau memisahkan kode dalam 2 (dua) *file* terpisah.
- l. **.device**; sebagai penunjuk jenis AVR yang digunakan.

- m. **.exit**; sebagai penunjuk agar berhenti melakukan *assembly* pada *file* saat ini.
- n. **.list**; berguna membangkitkan *file list*.
- o. **.listmac**; berguna agar penambahan *macro* ditampilkan pada *file list* yang dibangkitkan.
- p. **.nolist**; berguna agar suatu runtun instruksi tidak dimasukkan dalam *file list* yang dibangkitkan. Sistem Interupsi pada AVR ATmega8535.

2.3 Sensor Optik (GP2D12)

Dalam dunia *embedded technology* dan robotika, penggunaan sensor jarak sangat diperlukan. Sensor jarak (*InfraRed Range Finder*) pada robot akan digunakan sebagai indera penglihatan seperti layaknya pada manusia. Pada saat robot melakukan pergerakan maju, mundur atau belok, sensor ini bekerja sebagai navigatornya, sehingga terjadinya tabrakan bisa dihindari sebaik mungkin.

Gambar 2.6
Sensor GP2D12 *InfraRed Range Finder*

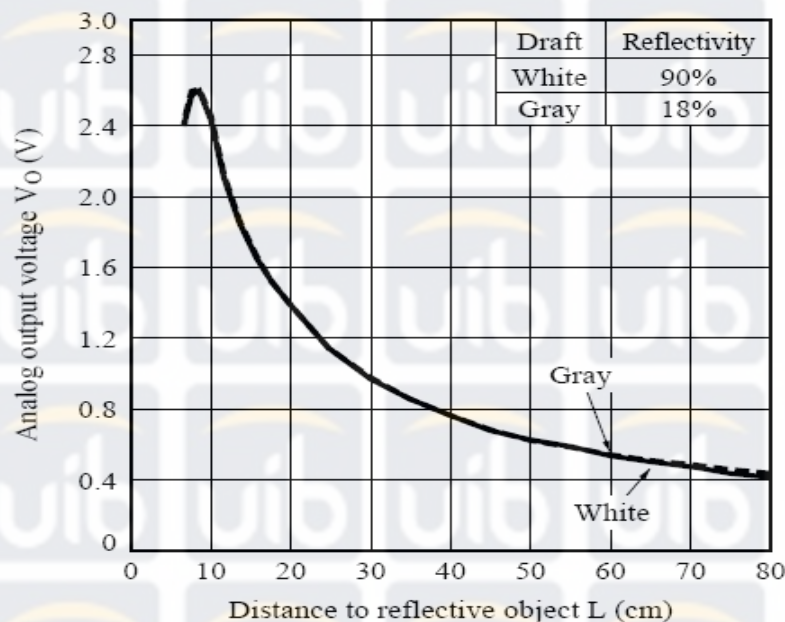


Sumber: ELKOM edisi Maret – April 2008

GP2D12 merupakan salah satu jenis sensor jarak dengan keluaran tegangan *analog*. Terdapat 2 (dua) jenis sensor jarak pada seri GP2D12 yaitu yang memiliki pembacaan dengan jarak maksimum 30 cm dan 80 cm. Pada prinsipnya

kedua jenis sensor jarak ini memiliki cara pembacaan yang sama yaitu dimulai dari pembacaan pada jarak minimum 8 cm. Sedangkan tegangan yang dikeluarkan adalah mulai dari 2,6 Vdc dan terus turun sampai sekitar 0,5 Vdc, sehingga jarak berbanding terbalik dengan tegangan. Jadi dapat disimpulkan bahwa tegangan akan semakin tinggi pada saat jarak semakin dekat. Setiap 32 ms pembacaan jarak pada sensor GP2D12 ini akan selalu *update*.

Gambar 2.7
Grafik Perbandingan Tegangan Keluaran Terhadap Jarak



Sumber: ELKOM edisi Maret – April 2008

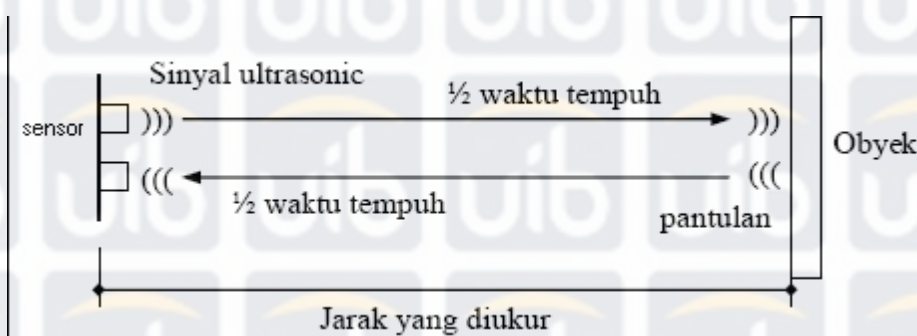
Penggunaan sensor GP2D12 ini tidak ada perlakuan khusus dalam proses pembacaannya, sehingga apabila ada mikrokontroler yang sudah terdapat fasilitas ADC (Seperti ATmega8535) didalamnya, maka sensor jarak ini tinggal dihubungkan pada sebuah pin *input* dan dibaca tegangan keluarannya. ATmega8535 merupakan salah satu jenis dari mikrokontroler AVR buatan ATMEL yang mempunyai 8 *channel* ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan

fidelitas 10 bit. Maksudnya adalah mikrokontroler ini mampu untuk diberi masukan tegangan *analog* sampai 8 (delapan) saluran secara bersamaan dengan ketelitian sampai 10 bit, sehingga pemakaian sensor jarak GP2D12 pada mikrokontroler ini maksimal adalah 8 buah.

2.4 Sensor PING)))

Sensor PING))) adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara, dimana sensor ini menghasilkan gelombang suara yang kemudian menangkapnya kembali dengan perbedaan waktu sebagai dasar pengindraannya. Perbedaan waktu antara gelombang suara yang dipancarkan dengan gelombang suara ditangkap kembali tersebut adalah berbanding lurus dengan jarak atau tinggi objek yang memantulkannya. Jenis objek yang dapat diindra diantaranya adalah objek padat, cair, butiran maupun tekstil.

Gambar 2.8
Cara Kerja Sensor PING)))

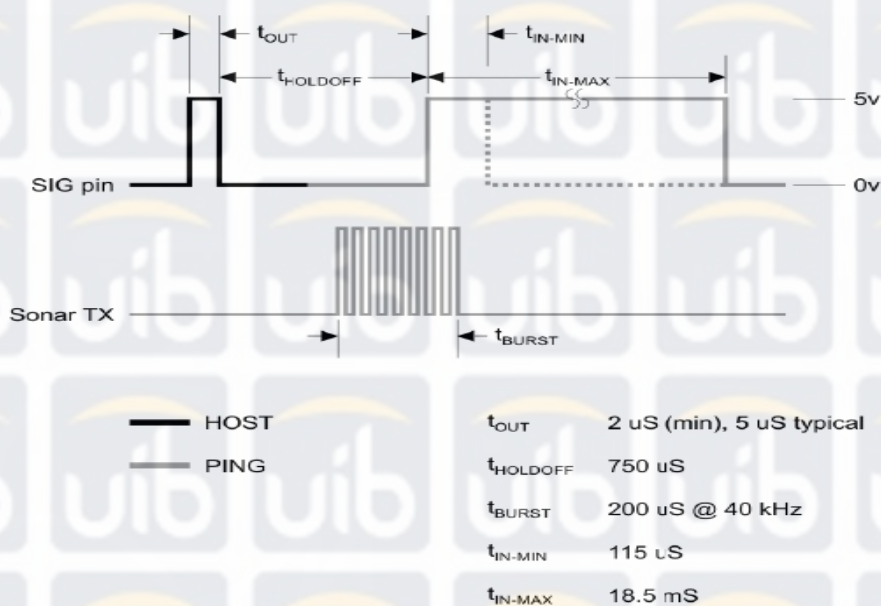


Sumber: Diolah dari data primer (2008)

Pada Gambar 2.8 dapat dijelaskan bahwa sensor mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) selama tBURST

(200 μ s) kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor ultrasonik memancarkan gelombang sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali (pulsa *trigger* dengan t_{OUT} min 2 μ s). Gelombang ultrasonik merambat melalui udara dengan kecepatan 344 m/s, mengenai objek dan memantul kembali ke sensor. Sensor ini mengeluarkan pulsa *output high* pada pin SIG setelah memancarkan gelombang ultrasonik dan setelah gelombang pantulan terdeteksi akan membuat *output low* pada pin SIG. Lebar pulsa *High* (t_{IN}) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk 2x jarak ukur dengan obyek. Maka jarak yang diukur adalah $[(t_{IN} \text{ s} \times 344 \text{ m/s}) \div 2]$ meter.

Gambar 2.9
Diagram Waktu Sensor PING)))



Sumber: <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-v1.5.pdf>

Sensor jarak ultrasonik PING))) buatan *parallax* dapat diandalkan keakuratan pembacaannya. Sensor ini dapat melakukan pengukuran jarak 2 cm

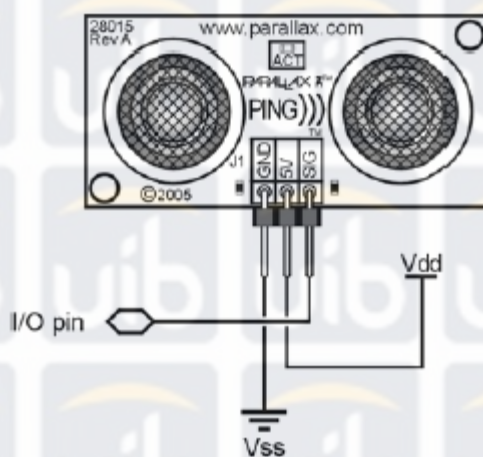
sampai 3 meter dan sangat mudah untuk dihubungkan ke mikrokontroler menggunakan sebuah pin I/O. Sensor ini memiliki fungsi yang sama seperti sensor GP2D12, namun sensor ini lebih difungsikan sebagai *back-up* jika sensor GP2D12 mengalami *error* pembacaan akibat adanya penghalang berupa cermin dan sekaligus sebagai penentu pada tiap persimpangan yang dilalui.

Gambar 2.10
Bentuk Fisik Sensor PING)))



Sumber: <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-v1.5.pdf>

Gambar 2.11
Konfigurasi Pin Sensor PING)))

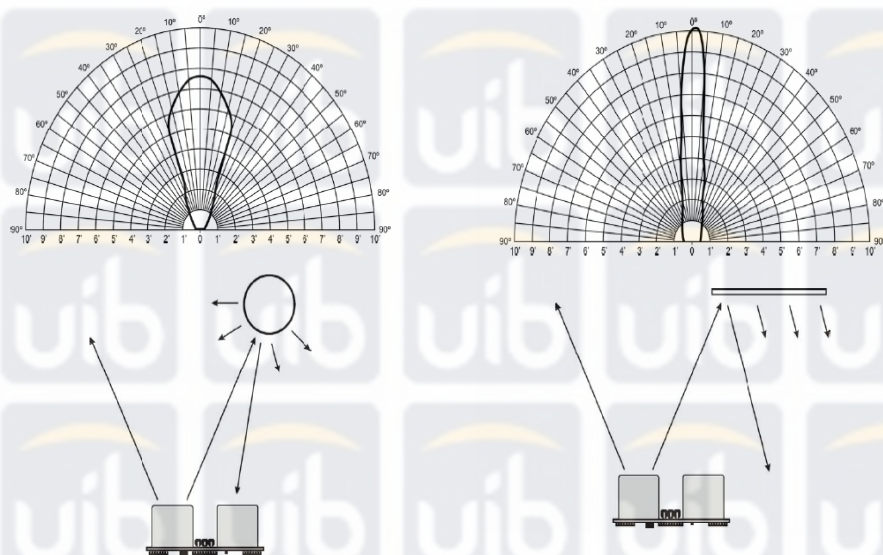


Sumber: <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-v1.5.pdf>

Berikut merupakan beberapa karakteristik yang dimiliki oleh sensor PING))):

- a. Tegangan suplai 5 VDC.
- b. Konsumsi arus 30 mA typ; 35 mA max.
- c. Jarak 2 cm - 3 m (0.8 in to 3.3 yds).
- d. *Input Trigger: positive TTL pulse, 2 μ S min, 5 μ S typ.*
- e. *Echo Puls: positive TTL pulse, 115 μ S to 18.5 ms.*
- f. *Echo Hold-off: 750 μ S from fall of Trigger pulse.*
- g. *Burst Frequency: 40 kHz for 200 μ S.*
- h. *Burst Indicator LED shows sensor activity.*
- i. *Delay before next measurement – 200 μ S.*
- j. *Size – 22 mm H x 46 mm W x 16 mm D (0.84 in x 1.8 in x 0.6 in).*

Gambar 2.12
Pola Radiasi Sensor PING)))



Sumber: <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-v1.5.pdf>

2.5 UVTRON (*flame detector*)

Sistem informasi pada robot untuk mendapatkan kondisi ada tidaknya api pada suatu ruangan merupakan masalah tersendiri dalam penyelesaiannya. Dalam hal ini keakuratan pembacaan sensor sangat diperlukan, salah satu pemecahan masalah tersebut adalah dengan dipasangnya sebuah sensor yang bekerja dengan mendeteksi panas api. Sensor ini memberikan sinyal aktif apabila mendeteksi adanya api dalam suatu ruangan.

Untuk itu jenis sensor yang digunakan adalah tipe Hamamatsu R2868.

Prinsip kerja sensor ini adalah dengan mendeteksi adanya gelombang *ultraviolet* pada *range* 185 – 260 nm dengan menggunakan efek perubahan gas, dimana api berada pada *range* tersebut. Sensor ini juga mampu mendeteksi sumber panas api hingga jangkauan maksimum 5 (lima) meter.

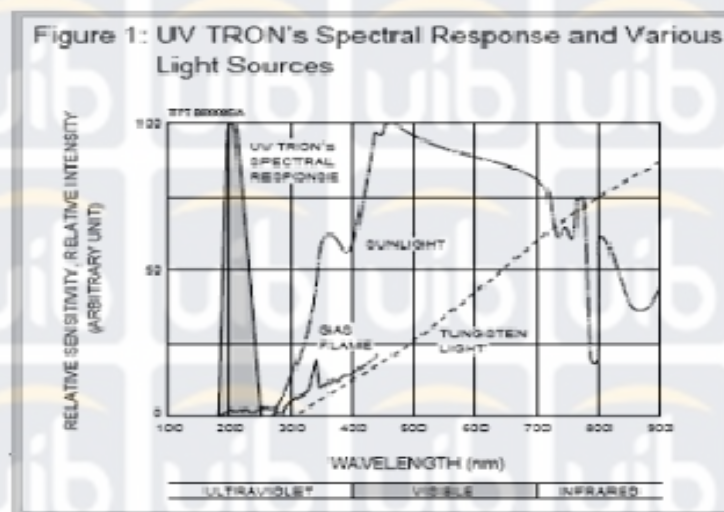
Gambar 2.13
Sensor *Flame Detector*



Sumber: http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/pdf/R2868_TPT1008E02.pdf

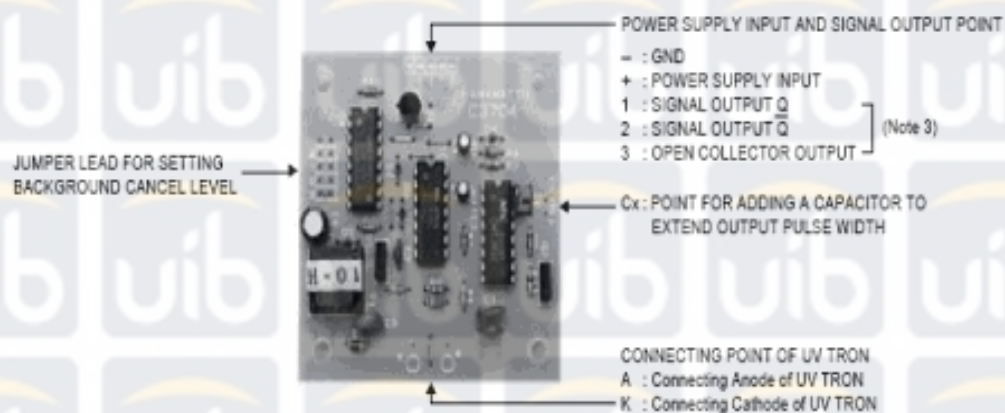
Sensor diatas sangat presisi dan sangat rentan sekali. Dalam perlakuannya sensor tersebut tidak boleh dipegang secara langsung oleh tangan manusia. Hal ini disebabkan karena bisa mengurangi sensitivitas dari sensor tersebut. Adapun karakteristik pada *range* pembacaan dari sensor ini tampak pada Gambar 2.14.

Gambar 2.14
Karakteristik Sensor



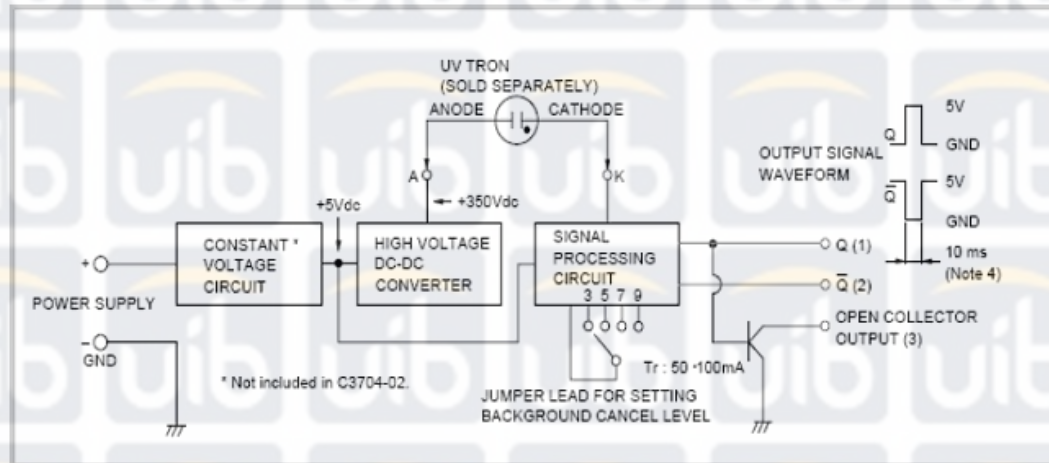
Sumber: http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/pdf/R2868_TPT1008E02.pdf

Gambar 2.15
Rangkaian Kontrol



Sumber: http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/pdf/R2868_TPT1008E02.pdf

Gambar 2.16
Skematik Diagram



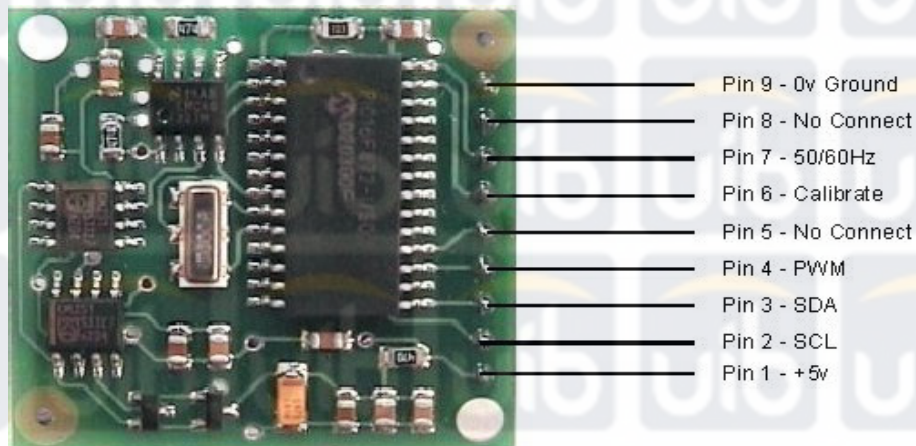
Sumber: http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/pdf/R2868_TPT1008E02.pdf

2.6 Sensor Magnetic Compas

Modul kompas ini didesain khusus untuk bidang robotik dengan tujuan sebagai *navigator* pada robot. Modul kompas ini menggunakan dua buah sensor medan magnet KMZ51 buatan Philips yang cukup peka untuk mendeteksi medan magnet bumi, dimana pemasangan dua buah sensor ini saling bersilangan. Pada modul kompas telah dipasang rangkaian pengkondisi sinyal dan mikrokontroler, sehingga kita dapat mengakses berapa derajat posisi kompas sekarang secara langsung.

Modul kompas membutuhkan suplai tegangan sebesar 5 Vdc dengan konsumsi arus sekitar 15 mA. Ada dua cara untuk membaca posisi magnet yaitu melalui sinyal PWM pada pin nomor 4 atau menggunakan protokol I2C pada pin nomor 2 dan 3.

Gambar 2.17
Konfigurasi Pin Pada Sensor Kompas

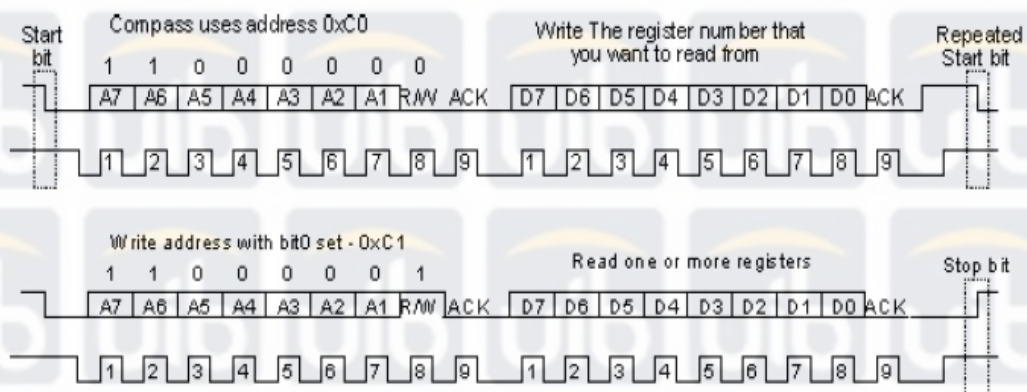


Sumber: <http://www.digi-ware.com/img/d/kompas.PDF>

Sinyal PWM yang dihasilkan oleh kompas merupakan sinyal yang lebar pulsanya dapat berubah-ubah dimana pulsa berlogika “1” menyatakan derajat. Lebar pulsa berlogika 1 bervariasi antara 1 ms (untuk 0°) sampai 36,99ms (untuk $359,9^\circ$). Dengan kata lain kompas memiliki resolusi $100 \mu\text{s}/^\circ$ dengan *offset* sebesar 1 ms. Sinyal kemudian akan berlogika 0 selama 65 ms. Jadi periode sinyal PWM sebesar 65 ms ditambah dengan waktu sinyal yang berlogika 1, atau 66 ms sampai 102 ms. Sinyal PWM tersebut dihasilkan oleh *timer* 16-bit dari prosesor pada modul kompas yang menghasilkan resolusi sebesar 1 μs . Sehingga disarankan oleh pembuatnya untuk mendeteksi sinyal PWM dengan *timer* yang resolusinya lebih rendah dari yang dihasilkan oleh kompas. Yakinkan bahwa untuk pin I2C, SDA dan SCL dihubungkan ke suplai 5 Vdc melalui resistor *pull-up*, karena pin SDA dan pin SCL tidak mempunyai *pull-up*.

Pin 2 dan 3 digunakan untuk berkomunikasi dengan protokol I2C untuk pengambilan nilai posisi kompas. Diagram pensinyalan tampak pada Gambar 2.18.

Gambar 2.18
Diagram Pensinyalan

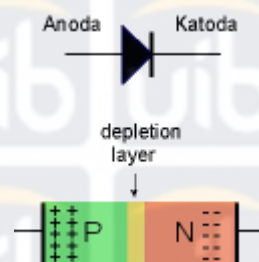


Sumber: <http://www.digi-ware.com/img/d/kompas.PDF>

2.7 Dioda

Dioda memiliki fungsi yang unik yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Struktur dioda tidak lain adalah sambungan semikonduktor P dan N. Satu sisi adalah semikonduktor dengan tipe P dan satu sisinya yang lain adalah tipe N. Dengan struktur demikian arus hanya akan dapat mengalir dari sisi P menuju sisi N.

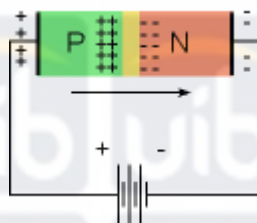
Gambar 2.19
Simbol dan Struktur Dioda



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Gambar ilustrasi diatas menunjukkan sambungan PN dengan sedikit porsi kecil yang disebut lapisan deplesi (*depletion layer*), dimana terdapat keseimbangan *hole* dan elektron. Seperti yang sudah diketahui, pada sisi P banyak terbentuk *hole* yang siap menerima elektron sedangkan di sisi N banyak terdapat elektron-elektron yang siap untuk bebas merdeka. Lalu jika diberi bias positif, dengan arti kata memberi tegangan potensial sisi P lebih besar dari sisi N, maka elektron dari sisi N dengan serta merta akan bergerak untuk mengisi *hole* di sisi P. Tentu saja kalau elektron mengisi *hole* disisi P, maka akan terbentuk *hole* pada sisi N karena ditinggal elektron. Ini disebut aliran *hole* dari P menuju N, Seandainya jika menggunakan terminologi arus listrik, maka dikatakan terjadi aliran listrik dari sisi P ke sisi N.

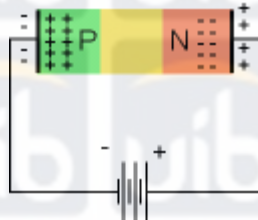
Gambar 2.20
Dioda Dengan Bias Arus Maju



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Sebaliknya apakah yang terjadi jika polaritas tegangan dibalik yaitu dengan memberikan bias negatif (*reverse bias*). Dalam hal ini, sisi N mendapat polaritas tegangan lebih besar dari sisi P.

Gambar 2.21
Dioda Dengan Bias Arus Mundur

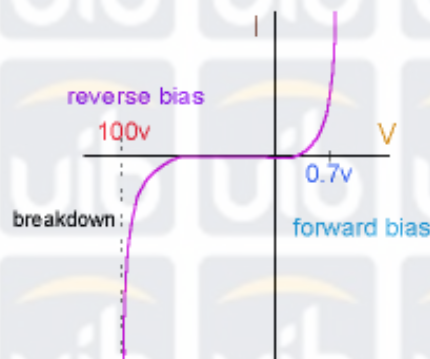


Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Tentu jawabannya adalah tidak akan terjadi perpindahan elektron atau aliran *hole* dari P ke N maupun sebaliknya, karena baik *hole* dan elektron masing-masing tertarik ke arah kutub berlawanan. Bahkan lapisan deplesi (*depletion layer*) semakin besar dan menghalangi terjadinya arus.

Demikianlah sekelumit bagaimana dioda hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Dengan tegangan bias maju yang kecil saja dioda sudah menjadi konduktor. Tidak serta merta diatas 0 volt, tetapi memang tegangan beberapa volt diatas nol baru bisa terjadi konduksi. Ini disebabkan karena adanya dinding deplesi (*depletion layer*). Untuk dioda yang terbuat dari bahan Silikon tegangan konduksi adalah diatas 0.7 volt. Kira-kira 0.2 volt batas minimum untuk dioda yang terbuat dari bahan Germanium. Sebaliknya untuk bias negatif dioda tidak dapat mengalirkan arus, namun memang ada batasnya. Sampai beberapa puluh bahkan ratusan volt baru terjadi *breakdown*, dimana dioda tidak lagi dapat menahan aliran elektron yang terbentuk di lapisan deplesi.

Gambar 2.22
Grafik Arus Dioda



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

2.8 LED

LED adalah singkatan dari *Light Emitting Diode*, merupakan komponen yang dapat mengeluarkan emisi cahaya. LED merupakan produk temuan lain setelah dioda. Strukturnya juga sama dengan dioda, tetapi belakangan ditemukan bahwa elektron yang menerjang sambungan P-N juga melepaskan energi berupa energi panas dan energi cahaya. LED dibuat agar lebih efisien jika mengeluarkan cahaya. Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, doping yang dipakai adalah *galium*, *arsenic* dan *phosphorus*. Jenis doping yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula.

Gambar 2.23
Simbol LED



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Pada saat ini warna-warna cahaya LED yang banyak dijumpai adalah warna merah, kuning, biru dan hijau. Pada dasarnya semua warna bisa dihasilkan, namun akan menjadi sangat mahal dan tidak efisien. Dalam memilih LED selain warna, perlu diperhatikan tegangan kerja, arus maksimum dan disipasi daya-nya. Rumah (*chasing*) LED dan bentuknya juga bermacam-macam, ada yang persegi empat, bulat dan lonjong.

Dioda banyak diaplikasikan pada rangkaian penyearah arus (*rectifier*) *power supply* atau konverter AC ke DC. Di pasar banyak ditemukan dioda seperti 1N4001, 1N4007 dan lain-lain. Masing-masing tipe berbeda tergantung dari arus maksimum dan juga tegangan *breakdown*-nya.

Gambar 2.24
LED array



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

LED sering dipakai sebagai indikator yang masing-masing warna bisa memiliki arti yang berbeda. Menyala, padam dan berkedip juga bisa berarti lain. LED dalam bentuk susunan (*array*) bisa menjadi *display* yang besar. Dikenal juga LED dalam bentuk *7 segment* atau ada juga yang *14 segment*. Biasanya digunakan untuk menampilkan angka numerik dan *alphabet*.

2.9 Photodiode

Photodiode merupakan sambungan *substrat* tipe N dan *substrat* tipe P yang dirancang untuk beroperasi bila dibiaskan dalam arah terbalik. Dengan pemberian tegangan mundur ini akan memperluas daerah pengosongan. Perubahan pada daerah pengosongan ini merupakan prinsip kerja dari *photodiode*.

Gambar 2.25
Photodiode

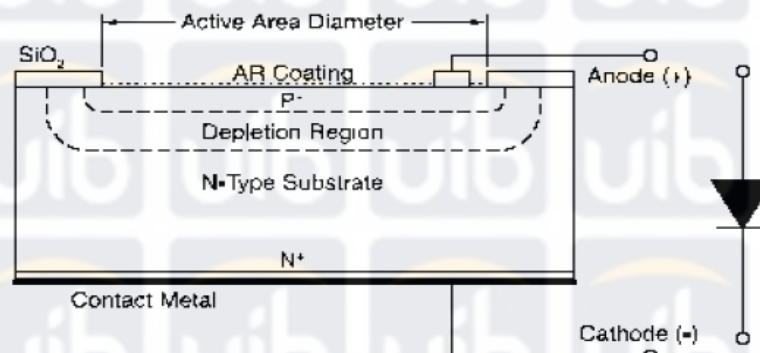


Sumber: [http://www.photodiodebasic/silicone sensor.html](http://www.photodiodebasic/silicone%20sensor.html)

Ketika energi cahaya (*photon*) yang jatuh pada daerah pengosongan *photodiode* lebih besar dari tegangan *barrier* silikon yaitu 1,12 eV dan menembus daerah katoda, energi cahaya ini dapat menyebabkan elektron keluar dari pita valensi (*valence band*) dan masuk ke pita konduksi (*conduction band*) kemudian meninggalkan *hole* pada pita konduksi. Dengan kata lain elektron dan *hole* menempati daerah masing-masing (*photovoltaic effect*).

Dengan kondisi diatas maka energi cahaya yang jatuh pada daerah pengosongan akan meniadakan sambungan. Daerah pengosongan yang semula menyekat arus ini akan berubah menghasilkan aliran arus *elektron-hole*.

Gambar 2.26
Struktur dari *Photodiode*



Sumber: <http://www.udt.com>

2.10 OP-AMP

Operational Amplifier atau yang sering disingkat dengan op-amp merupakan salah satu komponen. *analog* yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi op-amp populer yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian *inverter*, *non-inverter*, *integrator* dan *differensiator*. Terdapat beberapa aplikasi op-amp yang paling dasar, dimana rangkaian *feedback* (umpan balik) negatif memegang peranan penting. Secara umum, umpan balik positif akan menghasilkan osilasi sedangkan umpan balik negatif menghasilkan penguatan yang dapat terukur.

2.10.1 Op-amp ideal

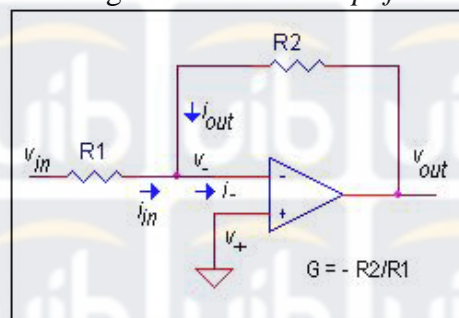
Op-amp pada dasarnya adalah sebuah penguat diferensial yang memiliki dua terminal masukan. (*Input*) yaitu *input inverting* dan *non-inverting*. Op-amp ideal memiliki *open loop gain* (penguatan loop terbuka) yang tak terhingga besarnya. Seperti op-amp LM741, LM393 dan masih banyak lagi yang sering digunakan oleh banyak praktisi elektronika,

memiliki karakteristik *open loop gain* sebesar $10^4 \sim 10^5$. Penguatan yang sebesar ini membuat op-amp menjadi tidak stabil, dan penguatannya menjadi tidak terukur (*infinite*). Disinilah peran rangkaian *negative feedback* (umpan balik negatif) diperlukan, sehingga op-amp dapat dirangkai menjadi aplikasi dengan nilai penguatan yang terukur (*finite*). Impedansi *input* op-amp ideal mestinya adalah tak terhingga, sehingga seharusnya arus *input* pada tiap masukannya adalah 0 (noI). Sebagai perbandingan praktis, op-amp LM741 memiliki impedansi *input* $Z_{in} = 10^6$ Ohm. Nilai impedansi ini masih relatif sangat besar sehingga arus *input* op-amp LM741 seharusnya sangat kecil.

2.10.2 Inverting amplifier

Rangkaian dasar penguat *inverting* adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.27, dimana sinyal masukannya dibuat melalui *input inverting*. Sehingga *fase* keluaran dari penguat *inverting* ini akan selalu berbalikan dengan *input*-nya. Pada rangkaian dibawah ini, umpan balik negatif dibangun melalui resistor R2.

Gambar 2.27
Rangkaian *Inverter Amplifier*



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Input non-inverting pada rangkaian ini dihubungkan ke *ground*, atau $v_+ = 0$. Dengan mengingat dan menimbang aturan 1 (lihat aturan 1), maka akan dipenuhi $v_- = v_+ = 0$. Karena nilainya = 0 namun tidak terhubung langsung ke *ground*, *input* op-amp v_- pada rangkaian ini dinamakan *virtual ground*. Dengan fakta ini, dapat dihitung nilai tegangan jepit pada R_1 adalah $v_{in} - v_- = v_{in}$ dan tegangan jepit pada resistor R_2 adalah $v_{out} - v_- = v_{out}$. Kemudian dengan menggunakan aturan 2, diketahui bahwa $i_{in} + i_{out} = i_- = 0$, karena menurut aturan 2, arus masukan op-amp adalah 0 (nol).

$$i_{in} + i_{out} = v_{in}/R_1 + v_{out}/R_2 = 0$$

Selanjutnya,

$$v_{out}/R_2 = -v_{in}/R_1 \dots \text{atau}$$

$$v_{out}/v_{in} = -R_2/R_1$$

Jika penguatan (G) didefinisikan sebagai perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka dapat ditulis:

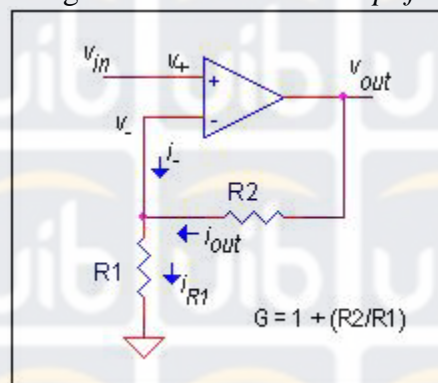
$$G = v_{out}/v_{in} = -R_2/R_1 \dots\dots(1)$$

Impedansi rangkaian *inverting* didefinisikan sebagai impedansi *input* dari sinyal masukan terhadap *ground*. Dikarenakan nilai *input inverting* (-) pada rangkaian ini diketahui adalah 0 (*virtual ground*), maka impedansi rangkaian ini tentu saja adalah $Z_{in} = R_1$.

2.10.3 Non-Inverting amplifier

Prinsip utama rangkaian penguat *non-inverting* adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.28 berikut ini. Seperti namanya, penguat ini memiliki masukan yang dibuat melalui *input non-inverting*. Dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan *input*-nya. Untuk menganalisa rangkaian penguat op-amp *non inverting*, caranya sama seperti menganalisa rangkaian *inverting*.

Gambar 2.28
Rangkaian *Non-Inverter Amplifier*



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Dengan menggunakan aturan 1 dan aturan 2, kita dapat uraikan beberapa fakta yang ada, antara lain:

$$V_{in} = v_{+}$$

$$v_{+} = v_{-} = v_{in} \dots \text{(lihat aturan 1)}$$

Dari sini dapat diketahui nilai tegangan jepit pada R2 adalah $v_{out} - v_{-} = v_{out} - v_{in}$, atau $i_{out} = (v_{out} - v_{in})/R2$. Lalu tegangan jepit pada R1 adalah $v_{-} = v_{in}$, yang berarti arus $i_{R1} = v_{in}/R1$.

Hukum *kirchhoff's* pada titik *input inverting* merupakan fakta yang mengatakan bahwa $i_{out} + i(-) = i_{R1}$. Aturan 2 mengatakan bahwa $i(-) = 0$

dan jika disubsitusikan kedalam rumus yang sebelumnya, maka diperoleh nilai $i_{out} = iR1$. Jika ditulis dengan tegangan jepit masing-masing maka diperoleh $(v_{out} - v_{in})/R2 = v_{in}/R1$ yang kemudian dapat disederhanakan menjadi $v_{out} = v_{in} (1 + R2/R1)$. Jika penguatan G adalah perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka didapat penguatan op-amp *non-inverting*:

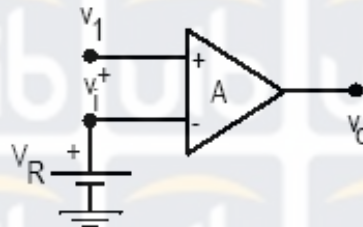
$$G = v_{out}/v_{in} = 1 + (R2/R1) \dots (2)$$

Impedansi untuk rangkaian Op-amp *non-inverting* adalah impedansi dari *input non-inverting* op-amp tersebut. Dari *datasheet*, LM741 diketahui memiliki impedansi *input* $Z_{in} = 108 \text{ to } 1012 \text{ Ohm}$.

2.10.4 Komparator (*Comparator*)

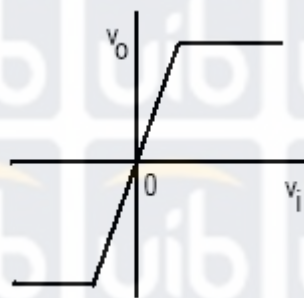
Pada gambar 2.29, jika tegangan masukan V_1 lebih besar dari tegangan referensi V_R , tegangan keluaran V_o akan berharga positif. Karena harga penguatan sangat besar, maka perbedaan tegangan yang relatif kecil akan membawa penguat pada “daerah jenuh”. Karakteristik transfer menunjukkan bahwa sedikit penurunan pada V_i (*milivolt*) akan membawa op-amp dari jenuh positif ke jenuh negatif (lihat gambar 2.30). Jika $V_R = 0 \text{ volt}$, ini akan menjadi *zero-crossing comparator*. Komparator jenis ini dapat digunakan untuk mengubah isyarat AC menjadi gelombang kotak dengan operasi pemotongan (*clipper*) seperti terlihat pada gambar 2.31.

Gambar 2.29
Comparator



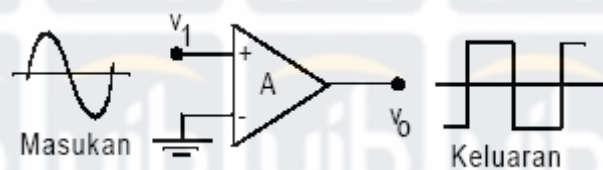
Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Gambar 2.30
Karakteristik Output



Sumber: <http://www.electroniclab.com>

Gambar 2.31
Operasi Pemotongan (*Clipper*)



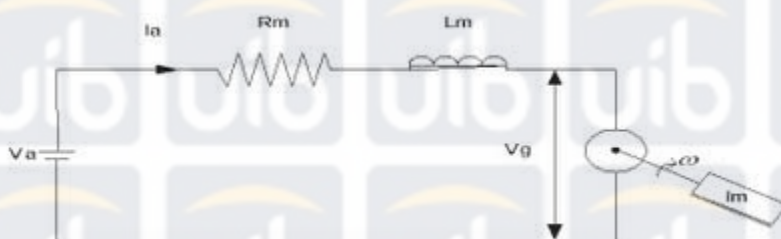
Sumber: <http://www.electroniclab.com>

2.11 Motor Servo

Motor DC Servo adalah suatu alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Magnet permanen motor DC Servo mengubah energi listrik ke dalam energi mekanik melalui interaksi dari dua medan magnet. Salah satu medan

dihasilkan oleh magnet permanen dan yang satunya dihasilkan oleh arus yang mengalir dalam kumparan motor. Resultan dari dua medan magnet tersebut menghasilkan torsi yang membangkitkan putaran motor tersebut. Saat motor berputar, arus pada kumparan motor menghasilkan torsi yang nilainya konstan.

Gambar 2.32
Diagram Rangkaian Motor servo DC

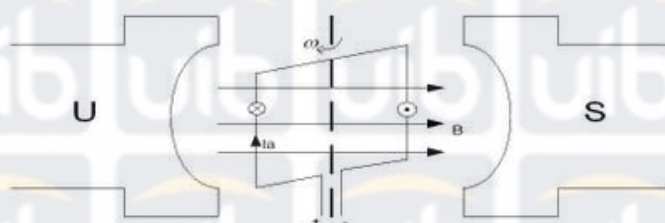


Sumber: Jurnal Teknik Elektro Vol. 3, No. 1, Maret 2003: 51 – 56

Pada motor DC Servo ini, ada tiga komponen utama, yaitu:

1. Armatur
2. Magnet Permanen
3. Komutator

Gambar 2.33
Konstruksi Motor DC



Sumber: Jurnal Teknik Elektro Vol. 3, No. 1, Maret 2003: 51 – 56

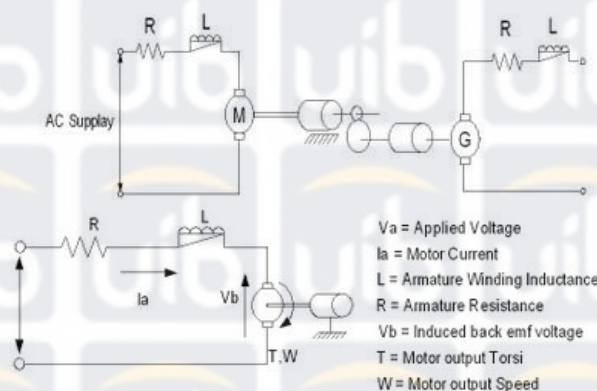
Prinsip kerja motor didasarkan pada peletakan suatu konduktor dalam suatu medan magnet. Pembahasan mengenai prinsip aliran medan magnet akan

membantu kita memahami prinsip kerja dari sebuah motor. Jika suatu konduktor dililitkan dengan kawat berarus maka akan dibangkitkan medan magnet berputar.

Kontribusi dari setiap putaran akan merubah intensitas medan magnet yang ada dalam bidang yang tertutup kumparan. Dengan cara inilah medan magnet yang kuat terbentuk. Tenaga yang digunakan untuk mendorong flux magnet tersebut disebut *Manetomotive Force* (MMF). Flux magnet digunakan untuk mengetahui seberapa banyak fluks pada daerah disekitar koil atau magnet *permanent*. Medan magnet pada motor DC Servo dibangkitkan oleh magnet permanen, jadi tidak perlu tenaga untuk membuat medan magnet. Fluks medan magnet pada *stator* tidak dipengaruhi oleh arus armature. Oleh karena itu, kurva perbandingan antara kecepatan dengan torsi adalah linier.

Pada prinsipnya jika sebuah penghantar dilalui arus listrik I_a , maka penghantar tersebut akan menghasilkan medan magnet disekelilingnya. Kemudian bilamana penghantar ini ditempatkan dalam induksi *magnetic* B , akan memperoleh gaya FB . Besarnya gaya yang ditimbulkan sebanding dengan arus listrik I_a dan panjang penghantar L yang memotong induksi *magnetic* B atau biasa dinyatakan dengan persamaan Induksi magnetik $Fb=B \cdot I \cdot L$.

Gambar 2.34
Model Dasar Rangkaian Motor Servo



Sumber: Jurnal Teknik Elektro Vol. 3, No. 1, Maret 2003: 51 – 56

Jika suatu konduktor (besi) dililitkan dengan suatu kawat berarus maka akan dibangkitkan medan magnet berputar, kontribusi dari setiap putaran akan merubah intensitas medan magnet yang ada dalam bidang yang tertutup kumparan. Dengan cara ini medan magnet tersebut disebut juga dengan *Magnet Motive Force* (MMF). Fluks magnet digunakan untuk mengetahui seberapa banyak fluks yang ada pada daerah disekitar koil atau magnet permanen. Medan magnet pada motor servo dibangkitkan oleh magnet permanen, jadi tidak perlu tenaga untuk membuat medan magnet. Fluks pada medan *stator* tidak dipengaruhi oleh arus dari motor. Oleh karena itu, kurva perbandingan antara kecepatan dengan torsi adalah linier.

Motor servo mampu bekerja dengan dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya.

Gambar 2.35
Gambar Motor Servo



Sumber: <http://www.bima@eepis-its.edu>

Gambar 2.36
Sistem Mekanik Motor Servo



Sumber: <http://www.bima@eepis-its.edu>

Motor servo merupakan sebuah motor DC yang memiliki rangkaian kontrol elektronik dan *internal gear* untuk mengendalikan pergerakan dan sudut angularnya. Besar kecilnya sudut putar yang dihasilkan dikontrol dengan pemberian pulsa PWM pada saluran kontrol pada terminal motor servo. Sistem

mekanik motor servo dapat dilihat pada Gambar 2.36. Terdapat beberapa jenis dari motor servo, antara lain:

a. Motor Servo Standar 180°

Motor servo jenis ini hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total defleksi sudut dari kanan – tengah – kiri adalah 180°.

b. Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) tanpa batasan defleksi sudut putar (dapat berputar secara kontinyu 360°).

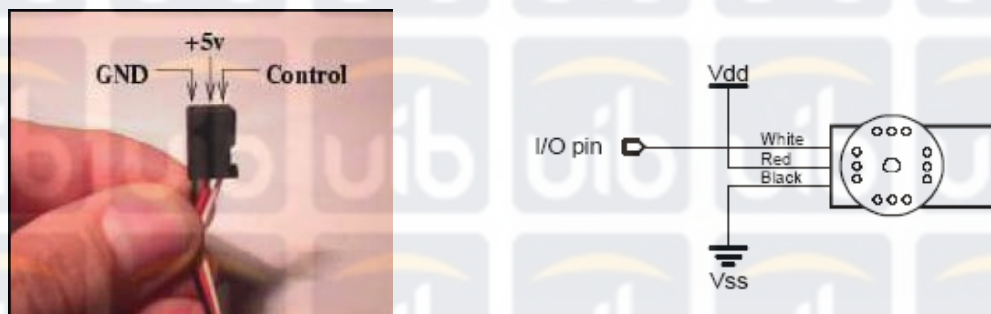
Seperti yang telah kita ketahui, bahwa motor servo memiliki putaran yang lambat dimana biasanya ditunjukkan oleh *rate* putarannya yang lambat. Namun demikian memiliki torsi yang kuat karena pada konstruksi mekaniknya memiliki *internal gear*.

Dalam penggunaannya, motor servo memiliki beberapa terminal yang dapat digambarkan seperti berikut:

- a. 3 (tiga) buah jalur kabel yaitu *power*, *ground*, dan *control (serial data)*.
- b. Sinyal kontrol mengendalikan pergerakan motor servo.
- c. Operasional dari motor servo dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar ± 20 ms, dimana lebar pulsa antara 0.5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari *range* sudut maksimum.
- d. Konstruksi didalamnya meliputi *internal gear*, *potensiometer*, dan *feedback control*.

Penggunaan motor servo pada aplikasi robot ini yaitu difungsikan sebagai penggerak posisi motor DC pada kipas (*fan*) ketika robot menemukan api lilin dan memadamkannya.

Gambar 2.37
Konfigurasi Pin dan Pengkabelan Pada Motor Servo



Sumber: <http://www.bima@eepis-its.edu>

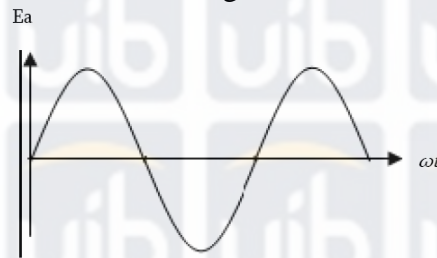
2.12 Motor DC

Motor arus searah (motor dc) telah ada selama lebih dari seabad. Keberadaan motor dc telah membawa perubahan besar sejak dikenalkan motor induksi, atau terkadang disebut *Ac Shunt Motor*. Motor dc telah memunculkan kembali *Silicon Controller Rectifier* yang digunakan untuk memfasilitasi kontrol kecepatan pada motor. Mesin listrik dapat berfungsi sebagai motor listrik apabila didalam motor listrik tersebut terjadi proses konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik. Sedangkan untuk motor dc itu sendiri memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik.

Pada motor dc kumparan medan 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

tagangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik.

Gambar 2.38
Gelombang Sinusoida



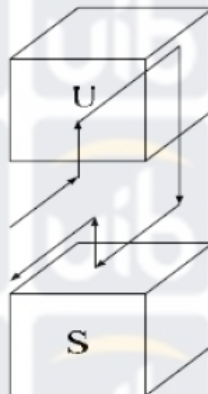
Sumber: Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, Penerbit ITB, hal 138

Prinsip dari arus searah adalah membalik *phasa* negatif dari gelombang *sinusoidal* menjadi gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator. Dengan demikian arus yang bebalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet akan menghasilkan tegangan (GGL) seperti yang terlihat pada Gambar 2.38.

2.12.1 Prinsip Kerja

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 berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi dan daerah tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 2.39
Prinsip Kerja Motor DC



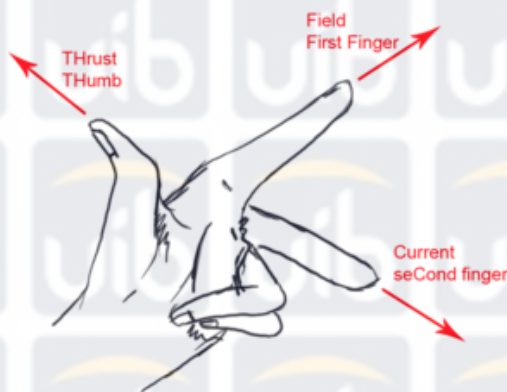
Sumber: <http://pksm.mercubuana.ac.id>

Dengan mengacu pada hukum kekekalan energi dimana proses energi listrik merupakan jumlah total dari beberapa energi yang diantaranya terdiri dari energi mekanik, energi panas, dan energi didalam medan magnet, maka dalam medan magnet akan dihasilkan kumparan medan dengan kerapatan fluks sebesar B dengan arus adalah I serta panjang konduktor sama dengan L maka diperoleh gaya sebesar F , dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = B I L \dots\dots\dots(pers. 1)$$

Arah dari gaya ini ditentukan oleh aturan kaidah tangan kiri, adapun kaidah tangan kiri tersebut adalah sebagai berikut:

Gambar 2.40
Kaidah Tangan Kiri



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

Ibu jari sebagai arah gaya (F), telunjuk jari sebagai fluks (B), dan jari tengah sebagai arus (I). Bila motor dc mempunyai jari-jari dengan panjang sebesar (r), maka hubungan persamaan dapat diperoleh:

$$Tr = Fr = B I L r \dots \dots \dots (\text{pers. } 2)$$

Saat gaya (F) tersebut dibandingkan, konduktor akan bergerak didalam kumparan medan magnet dan menimbulkan gaya gerak listrik yang merupakan reaksi lawan terhadap tegangan sumber.

Agar proses perubahan energi mekanik tersebut dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

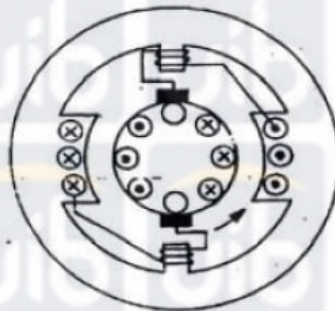
2.12.2 Konstruksi Motor DC

Bagian-bagian yang penting dari motor dc dapat ditunjukkan pada Gambar 2.41, dimana *stator* mempunyai kutub yang menonjol dan ditelar oleh kumparan medan. Pembagian dari fluks yang terdapat pada daerah

celah udara yang dihasilkan oleh lilitan medan secara simetris yang berada disekitar daerah tengah kutub kumparan medan.

Kumparan penguat dihubungkan secara seri, posisi kumparan jangkar berada pada slot besi yang berada disebelah luar permukaan jangkar. Pada jangkar terdapat komutator yang berbentuk silinder dan isolasi sisi kumparan yang dihubungkan dengan komutator pada beberapa bagian yang berbeda sesuai dengan jenis belitan.

Gambar 2.41
Konstruksi Motor DC



Sumber: <http://pksm.mercubuana.ac.id>

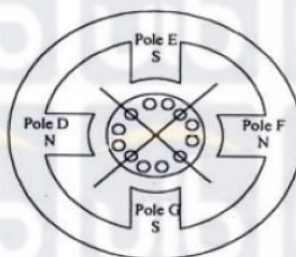
2.12.3 Torsi Motor

Torsi motor didefinisikan sebagai aksi dari suatu gaya pada motor yang dapat mempengaruhi beban untuk ikut bergerak. Ketika sumber tegangan dihubungkan pada *brush* (sikat) motor, maka arus yang mengalir masuk ke kutub positif *brush*, melalui komutator dan kumparan armatur, serta keluar melalui daerah kutub negatif dari *brush*.

Pada saat yang bersamaan, arus juga mengalir melalui kumparan medan magnet. Penerapan kaidah tangan kanan pada konduktor armatur

yang berada dibawah kutub utara (D) memperlihatkan kumparan medan magnet yang memperkuat gaya keatas agar dapat mendorong konduktor.

Gambar 2.42
Arah Arus Armatur Untuk Putaran Searah Jarum Jam



Sumber: <http://pksm.mercubuana.ac.id>

Ketika kumparan medan magnet berada dibawah posisi kutub selatan *E*, gaya akan memotong kearah kanan, kemudian menekan kebawah, sedangkan kutub utara *F* dan selanjutnya akan bergerak mendorong kearah kiri dibawah kutub selatan *G*, sehingga terbentuk suatu arah gaya yang dapat mengakibatkan konduktor armatur yang bergerak searah dengan arah jarum jam seperti pada Gambar 2.42.

Dalam kondisi armatur yang berputar, dimana konduktor bergerak dibawah kutub menuju ke kondisi *neutralplane*, kondisi arus menjadi *reverse* karena komutator. Dari proses tersebut diperoleh suatu kenyataan yang sama, bila arus yang mengalir melalui kumparan armatur dalam kondisi *reverse* dengan proses membalik posisi armatur. Namun arahnya akan meninggalkan polaritas medan yang bersangkutan, maka torsi yang dibangkitkan akan bergerak kearah yang berlawanan dengan arah jarum jarum jam.

Sedangkan torsi yang dibangkitkan pada motor dc merupakan gabungan aksi dari fluks medan (Φ), arus armatur (I_a) yang menghasilkan medan magnet didaerah sekitar konduktor. Oleh karena itu diperoleh persamaan torsi (T) sebagai berikut:

$$T = k \Phi I_a \dots \dots \dots (\text{pers. 3})$$

2.12.4 Motor DC Penguat Terpisah

Motor dc penguat terpisah adalah merupakan salah satu dari jenis motor dc yang dapat menambah kemampuan daya dan kecepatan karena memiliki fluks medan (Φ) yang dihasilkan oleh kumparan medan, yang terletak secara terpisah dan mempunyai sumber pembangkit tersendiri berupa tegangan dc. Sehingga dengan demikian, jenis motor dc penguat terpisah ini sangat memungkinkan untuk dapat membangkitkan fluks medan (Φ) bila dibandingkan dengan menggunakan motor dc magnet permanen. Hal ini dikarenakan motor dc penguat terpisah mempunyai fleksibilitas dalam pengontrolannya, seperti yang terdapat pada Gambar 2.43.

Pada kenyataannya terdapat dua hal yang dapat mempengaruhi nilai torsi dan kecepatan dari motor dc jenis penguat terpisah, yaitu tegangan dan fluks medan. Hal ini dapat kita amati dari persamaan dasar motor dc, sebagai berikut:

$$V = E_a + I_a R_a \dots \dots \dots (\text{pers. 4})$$

$$\text{Jika } E = c n \Phi$$

Maka $V_t = c n \Phi + I_a R_a$

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{c \Phi}$$

Keterangan :

n = Kecepatan

c = Konstanta

R_a = Tahanan Jangkar

V_t = Tegangan jepit motor

I_a = Arus jangkar

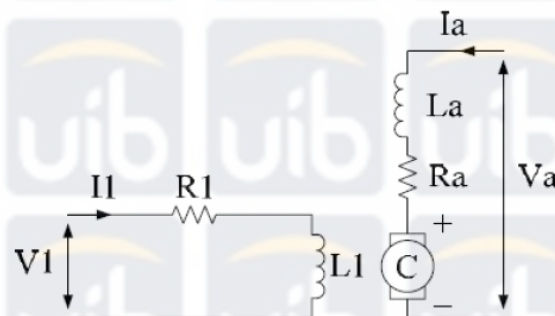
Φ = Fluks magnet

Aplikasi secara umum, fluks medan diusahakan tetap dalam kondisi yang konstan, sedangkan untuk tegangan suplai motor dc ditambah secara linier, hingga diperoleh kecepatan nominal dari motor.

Ketika kecepatan yang diinginkan tersebut telah diperoleh, langkah kedua adalah menjaga agar kondisi tersebut tetap stabil tidak melebihi kecepatan nominal, maka tegangan suplai dibiarkan dalam kondisi konstan dan fluks pada kumparan medan diperkecil dengan mengurangi arus medan (I_f) yang diberikan. Pada keadaan ini terjadi pelemahan kerja pada sisi kumparan medan (*field Weaking*) dan kecepatan motor dc tersebut dapat mencapai 50% s/d 100% dari kecepatan nominal motor.

Gambar 2.43

Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah



Sumber: <http://pksm.mercubuana.ac.id>

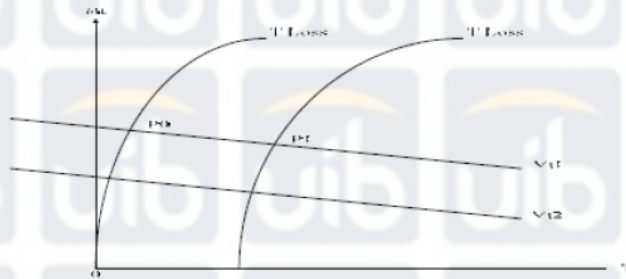
2.12.5 Karakteristik Motor DC dengan Penguat Terpisah

Jika tegangan suplai yang diberikan pada kumparan medan diatur dalam kondisi konstan pada suatu harga maksimum dari motor, maka fluks motor (Φ) yang dibangkitakan menjadi besar, sehingga untuk harga V_t bernilai konstan. Hubungan antara nilai torsi motor dan kecepatan motor dapat dipresentasikan dengan hubungan antara dua buah garis lurus dengan kemiringan garis gradien negatif yang kecil dengan perpotongan yang terletak pada sumbu kecepatan seperti pada Gambar 2.44.

Apabila proses dari motor tersebut dihubungkan pada suatu sistem mekanik (dalam hal ini motor diberi beban/terbebani), maka sistem akan bekerja pada poin ($P1$) yang mana merupakan titik pertemuan antara dua buah garis. Sedangkan jika motor tidak dihubungkan pada suatu mekanik (dalam hal ini motor tidak diberi beban/tidak terbebani), motor akan beroperasi pada posisi poin ($P0$). Untuk kumparan jangkar yang disuplai oleh sumber yang terkontrol dari tegangan searah, maka kecepatannya dapat diatur mulai dari nol sampai harga V_t sama dengan harga tegangan maksimum. Nilai range dari V_{t2} akan mengikuti karakteristik dari tegangan V_{t1} .

Gambar 2.44

Karakteristik Torsi dan Kecepatan dengan Pengaturan Tegangan Jangkar



Sumber: <http://pksm.mercubuana.ac.id>

2.12.6 Prinsip Kontrol Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah

Pada Gambar 2.45 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari motor dc penguat terpisah, dimana pada sumber tegangan kumparan jangkar dan kumparan medan dalam posisi terpisah. Dari rangkaian tersebut diperoleh suatu persamaan:

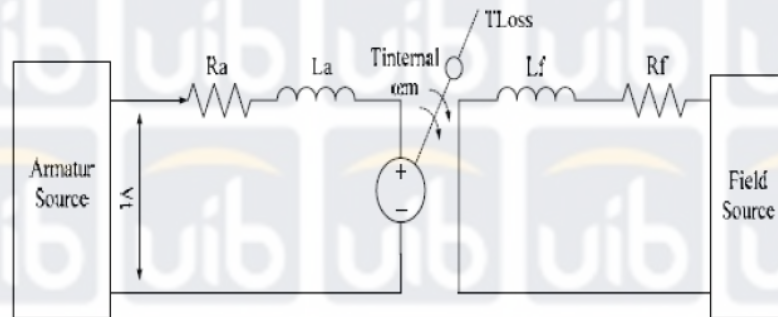
$$V_f = R_f I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \dots\dots\dots (pers. 5)$$

$$V_t = k \Phi \omega_m + L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a \dots\dots\dots (pers. 6)$$

$$T_i = k \Phi I_a - j \frac{d\omega_m}{dt} T_{loss} \dots\dots\dots (pers. 7)$$

Gambar 2.45

Rangkaian Ekuivalen Motor DC Dengan Penguat Terpisah



Sumber: <http://pksm.mercubuana.ac.id>

Pada keadaan *steady state*, turunan terhadap fungsi waktu adalah nol (0) dan jika variable i_f , i_a , dan ω_m konstan, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_f = R_f I_f V \dots\dots\dots (pers. 8)$$

$$V_t = k \Phi \omega_m + R_a I_a V \dots\dots\dots (pers. 9)$$

$$T_i = k \Phi I_a - T_{loss} Nm \dots\dots\dots (pers. 10)$$

Tegangan dari GGL lawan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar motor pada saat motor bekerja dapat ditulis dengan suatu persamaan sebagai berikut:

$$e_a = k \Phi \omega_m V \dots\dots\dots (pers. 11)$$

Saat motor *start*, nilai GGL lawan adalah nol, sehingga arus pada kumparan jangkar cukup besar. Untuk persamaan torsi internal pada motor diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$T = k \Phi I_a nm \dots\dots\dots (pers. 12)$$

$$\omega_m = \frac{V_t}{k\Phi} - \frac{R_a T}{(k\Phi)^2} \dots\dots\dots (pers. 13)$$

Beberapa metode yang digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor dc penguat terpisah mengacu pada (pers.5). Pada kondisi *steady*

state, kecepatan motor dc dapat dikontrol langsung dengan mengatur nilai tegangan terminal jangkar V_t , dapat juga diatur melalui besarnya fluks (Φ) pada kumparan medan dengan cara menambah arus medan (I_f), dari kedua metode ini dapat dikombinasikan untuk mendapatkan *range* pengaturan kecepatan yang lebih baik.

Gambar 2.46
Gambar Motor DC *Geared*



Adapun karakteristik motor DC yang digunakan sebagai berikut:

- a. Tegangan maksimum 12 Vdc.
- b. Memiliki kecepatan putar 185 rpm.
- c. Memiliki *internal gear* pada konstruksi mekaniknya.

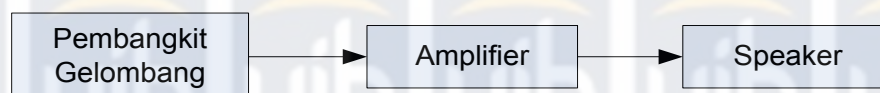
Gambar 2.47
Sistem Mekank Motor DC *Geared*



2.13 *Activation Circuit*

Robot ini diaktifkan dengan menggunakan *mode sound activation*. Pada rangkaian ini terdiri dari 2 (dua) bagian penting yaitu pemancar sebagai *generator* pembangkit sinyal dengan frekuensi 3–4 KHz dan penerima berupa *Sound Detector/Tone Decoder* yang mampu mendeteksi nada dengan frekuensi sebesar 3 – 4 KHz. Rangkaian penguat yang dirancang pada bagian pemancar dimaksudkan dengan tujuan agar suara yang dihasilkan mempunyai daya yang tinggi sehingga dapat diterima dengan baik pada bagian penerima. Selanjutnya adalah *speaker* sebagai *output* yang berfungsi untuk mengeluarkan suara hasil pengolahan yang akan diumpankan pada bagian penerima (*receiver*).

Gambar 2.48
Blok Diagram Pemancar *Sound Activation*



Sumber: Diolah dari data primer 2008

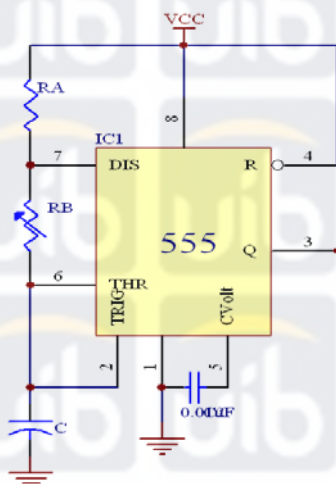
Komponen pembangkit gelombang yang digunakan adalah IC LM555 yang diatur sebagai pembangkit gelombang kotak. IC LM555 sebagai *pulse generator* tampak pada Gambar 2.49.

Frekuensi yang dihasilkan dapat diatur dari kombinasi nilai resistor dan kapasitor R_A , R_B , dan C yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

Gambar 2.49

IC LM555 Sebagai *Pulse Generator*



Sumber: Diolah dari data primer 2008

Agar lebih memudahkan pengaturannya, maka resistor R_B menggunakan sebuah variabel resistor yang dapat diubah-ubah frekuensinya sesuai dengan kebutuhan. Nilai-nilai R_A , R_B , dan C yang diperoleh dari perhitungan dengan rumus di atas adalah sebagai berikut:

$$R_A = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 3.9 \text{ k}\Omega$$

$$C = 0.047 \text{ }\mu\text{F}$$

Pada rangkaian penerima terdiri dari *mic* sebagai penerima gelombang suara yang dipancarkan pada bagian *transmitter*. Selanjutnya rangkaian *pre-amplifire* akan menguatkan gelombang yang diterima oleh *mic* yang kemudian diberikan ke rangkaian *bandpass filter*. Rangkaian *bandpass filter* difungsikan sebagai penyaring gelombang suara, hal ini dimaksudkan untuk menghindari adanya gangguan/interferensi gelombang lain yang tidak dikehendaki masuk pada

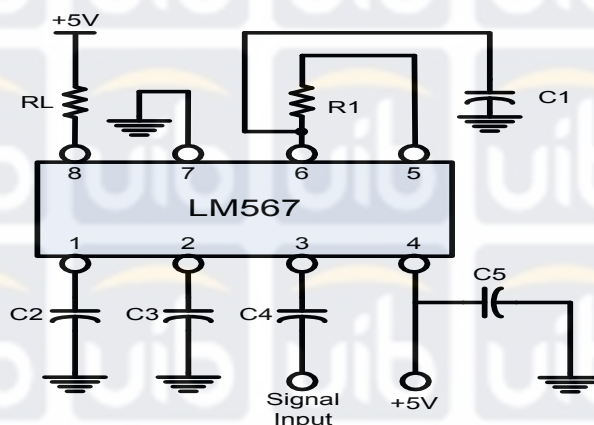
blok rangkaian penerima. Blok diagram penerima *sound activation* tampak pada Gambar 2.50.

Gambar 2.50
Blok Diagram Penerima *Sound Activation*



Sumber: Diolah dari data primer 2008

Gambar 2.51
Rangkaian *Tone Decoder* LM567



Sumber: Diolah dari data primer 2008

Sebagai *band pass filter* digunakan IC LM567. Untuk pengaturan *range* frekuensi yang akan dideteksi sebagai informasi pada bagian penerima ini, dapat dilakukan dengan cara mengatur nilai resistor dan kapasitor. Pada aturan dalam KRCI 2008, ditentukan bahwa untuk nilai frekuensi suara pada *sound activation* adalah pada *range* 3 – 4 KHz. Frekuensi dari osilator *internal*-nya diatur oleh kombinasi nilai R dan C diantara pin 5 dan 6. Frekuensi operasi dari LM567 adalah sama dengan osilator lokal tersebut. Seperti yang tertera pada *datasheet*, frekuensi ditentukan dengan rumus :

$$Freq = \frac{1}{1.1 \times R \times C}$$

2.14 Power Supply

Agar seluruh sistem yang telah dirancang dapat dijalankan sesuai dengan fungsinya, maka dibutuhkan adanya sumber tegangan yang mampu menyuplai daya sesuai dengan kebutuhan. Sebagai sumber tegangan, pada robot ini menggunakan 8 (delapan) *rechargeable battery* yang tersusun secara seri dan dikemas sedemikian rupa sehingga memiliki total tegangan mencapai 11 Vdc, dimana pada tiap baterai memiliki karakteristik yang sama.

Gambar 2.52
Gambar Rechargeable Battery



Karakteristik:

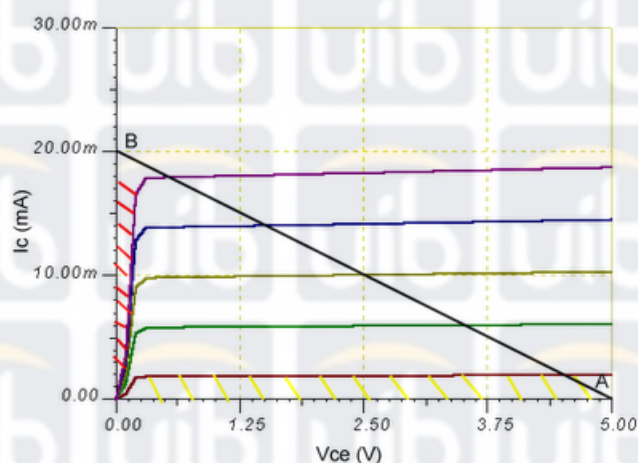
- a. Memiliki tegangan 1.2 Vdc
- b. Suplai arus mencapai 2500 mAh

Sumber tegangan pada robot dibagi menjadi 2 bagian. Bagian pertama dikhususkan untuk menyuplai tegangan pada rangkaian, sedangkan yang satunya lagi dipergunakan sebagai suplai tegangan untuk motor DC. Pembagian suplai tegangan ini dimaksudkan agar tidak terganggunya sistem kerja pada rangkaian akibat kurangnya daya ketika motor DC bekerja yang berdampak pada kinerja pada rangkaian utama dan beberapa sensor penunjang.

2.15 Transistor Sebagai Saklar (*Switching Transistor*)

Saat sebuah transistor digunakan pada suatu rangkaian, fungsi dari transistor tersebut ditentukan oleh kurva karakteristik-nya. Transistor memiliki kurva karakteristik *input*, *output* dan *transfer*, yang paling umum digunakan adalah kurva karakteristik *output*. Pada saat Transistor digunakan sebagai saklar, maka daerah yang digunakan pada kurva karakteristik ialah daerah "*cut-off*" dan daerah "*saturasi*", untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah.

Gambar 2.53
Kurva Karakteristik Kerja Transistor



Sumber: <http://elkaubisa.blogspot.com>

Daerah yang diarsir kuning adalah daerah "*cut-off*". Pada saat "*cut-off*" kondisi dari transistor adalah arus basis sama dengan nol ($I_B=0$), Arus *output* pada kolektor sama dengan nol dan tegangan pada kolektor maksimum atau sama dengan tegangan suplai ($V_{CE} = V_{CC}$).

Daerah yang diarsir merah adalah daerah "*saturasi*". Pada saat "*saturasi*" kondisi dari transistor adalah arus basis maksimal ($I_B=Max$), sehingga menghasilkan arus kolektor maksimal ($I_C=Max$) dan tegangan Kolektor Emitor minimum ($V_{CE}=0$).

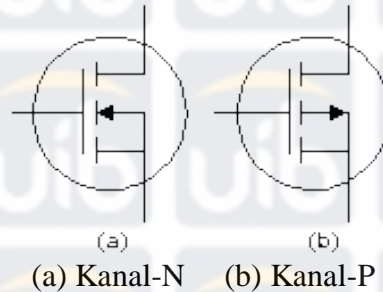
Garis beban dapat dibangun apabila kita mengetahui arus beban pada rangkaian dan tegangan operasinya. Jika transistor yang digunakan untuk menggerakkan beban sebesar 20mA, tegangan *supply*-nya 5V DC. Titik "A" pada diagram adalah kondisi saat transistor *OFF*, I_C (arus kolektor) akan menjadi nol sedangkan VCE (tegangan kolektor-emitor) akan menjadi hampir sama dengan tegangan *supply* (5V DC).

Titik "B" pada diagram adalah kondisi saat transistor *ON* dimana I_C akan menjadi 20mA (sama dengan arus beban) dan VCE nilainya sangat kecil hampir mendekati nol. Garis yang ditarik dari titik A ke titik B ini yang dinamakan garis beban.

2.16 MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*)

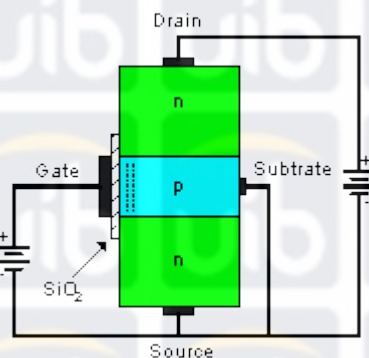
Mirip seperti JFET, transistor MOSFET (*Metal oxide FET*) memiliki *drain*, *source* dan *gate*. Namun perbedaannya *gate* terisolasi oleh suatu bahan oksida. *Gate* sendiri terbuat dari bahan metal seperti aluminium. Oleh karena itulah transistor ini dinamakan *metal-oxide*. Karena *gate* yang terisolasi, sering jenis transistor ini disebut juga IGFET yaitu *insulated-gate FET*. Ada dua jenis MOSFET, yang pertama jenis *depletion-mode* dan yang kedua jenis *enhancement-mode*. Jenis MOSFET yang kedua adalah komponen utama dari gerbang logika dalam bentuk IC (*integrated circuit*), μC (*micro controller*) dan μP (*micro processor*) yang tidak lain adalah komponen utama dari komputer modern saat ini.

Gambar 2.54
Simbol Transistor MOSFET



Sumber: Diolah dari data primer (2008)

Gambar 2.55
Struktur MOSFET



Sumber: Diolah dari data primer (2008)

Gambar 2.55 adalah transistor MOSFET *enhancement mode* kanal-n. Jika tegangan *gate* V_{GS} dibuat negatif, tentu saja arus elektron tidak dapat mengalir. Juga ketika $V_{GS}=0$ ternyata arus belum juga bisa mengalir, karena tidak ada lapisan deplesi maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan V_{GS} positif. Karena *subtrat* terhubung dengan *source*, maka jika tegangan *gate* positif berarti tegangan *gate* terhadap *subtrat* juga positif. Tegangan positif ini akan menyebabkan elektron tertarik ke arah *subtrat p*.

Elektron-elektron akan bergabung dengan *hole* yang ada pada *subtrat p*. Karena potensial *gate* lebih positif, maka elektron terlebih dahulu tertarik dan menumpuk disisi *subtrat* yang berbatasan dengan *gate*.

Elektron akan terus menumpuk dan tidak dapat mengalir menuju *gate* karena terisolasi oleh bahan *insulator SiO2* (kaca). Jika tegangan *gate* cukup positif, maka tumpukan elektron akan menyebabkan terbentuknya semacam lapisan *n* yang negatif dan seketika itulah arus *drain* dan *source* dapat mengalir. Lapisan yang terbentuk ini disebut dengan istilah *inversion layer*. Kira-kira terjemahannya adalah lapisan dengan tipe yang berbalikan. Oleh karena *subtrat*-nya tipe *p*, maka lapisan *inversion* yang terbentuk adalah bermuatan negatif atau tipe *n*.

Tentu ada tegangan minimum dimana lapisan *inversion n* mulai terbentuk. Tegangan minimum ini disebut tegangan *threshold VGS(th)*. Tegangan *VGS(th)* oleh pabrik pembuat tertera di dalam *datasheet*. Disini letak perbedaan utama prinsip kerja transistor MOSFET *enhancement-mode* dibandingkan dengan JFET. Jika pada tegangan $V_{GS}=0$, transistor JFET sudah bekerja atau *ON*, maka transistor MOSFET *enhancement-mode* masih *OFF*. Dikatakan bahwa JFET adalah komponen *normally ON* dan MOSFET adalah komponen *normally OFF*.

MOSFET diaplikasikan pada rangkaian *driver* motor DC *geared* yang berfungsi sebagai saklar untuk pergerakan putaran motor. Dimana motor sebagai beban memiliki konsumsi daya yang cukup besar, hal ini dikarenakan oleh motor yang terpasang pada robot langsung dihubungkan pada roda. Oleh karena itu secara otomatis beban total robot yang terdiri dari beberapa mekanik, sensor dan

rangkaian pendukung akan mempengaruhi kinerja motor. Dalam hal ini arus pada transistor daya juga akan meningkat karena efek beban dari motor dc *geared* yang terpasang pada robot.