

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Definisi Robot**

Robot adalah sebuah alat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik, baik menggunakan pengawasan dan kontrol manusia, ataupun menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dulu (kecerdasan buatan). Istilah robot berawal bahasa Cheko “*robota*” yang berarti pekerja atau kuli yang tidak mengenal lelah atau bosan. Saat ini hampir tidak ada orang yang tidak mengenal robot, namun pengertian robot tidaklah dipahami secara sama oleh setiap orang.

Pada kamus Webster pengertian robot adalah : *An automatic device that performs function ordinarily ascribed to human beings* (sebuah alat otomatis yang melakukan fungsi berdasarkan kebutuhan manusia). Dari kamus Oxford diperoleh pengertian robot adalah: *A machine capable of carrying out a complex series of actions automatically, especially one programmed by a computer.* (Sebuah mesin yang mampu melakukan serangkaian tugas rumit secara otomatis, terutama yang diprogram oleh komputer).

##### **2.1.1. Macam - Macam Robot**

Secara umum, macam robot dapat dibedakan dalam 3 kategori yaitu:

###### **1. Robot Tidak Bergerak**

Robot jenis ini tidak dapat berpindah posisi dari satu tempat ke tempat lainnya, sehingga robot ini hanya dapat menggerakkan beberapa bagian tubuhnya dengan fungsi tertentu yang telah dirancang. Contoh dari robot ini adalah robot industri.

###### **2. Robot Bergerak**

Robot jenis ini memiliki ciri khas yaitu mempunyai penggerak berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut, sehingga robot ini dapat berpindah posisi dari satu titik ke titik lain.



### 3. Robot Humanoid

Robot humanoid adalah robot yang bentuk keseluruhannya menyerupai bentuk tubuh manusia, mampu melakukan interaksi dengan peralatan maupun lingkungan yang dibuat untuk manusia.

#### 2.1.2. Fungsi Robot

Robot memiliki berbagai macam fungsi, yang diataranya sebagai berikut:

1. Meningkatkan produksi, akurasi dan daya tahan. Robot ini banyak digunakan di industri.
2. Untuk tugas-tugas yang berbahaya, kotor dan beresiko. Robot ini digunakan ketika manusia tidak mampu masuk ke daerah yang beresiko. Seperti robot untuk menjelajah planet, robot untuk mendeteksi limbah nuklir, robot militer, dan robot pemadam kebakaran.
3. Untuk pendidikan. Banyak robot yang digunakan untuk menarik pelajar belajar teknologi seperti robot lego.
4. Untuk menolong manusia. Seperti di rumah untuk membersihkan rumah pakai penghisap debu otomatis, di rumah sakit untuk menghantar makanan, membantu operasi.

#### 2.2. Sensor

Sensor adalah komponen yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Sensor sangat berperan penting dalam dunia robotika yang berfungsi sebagai *input* navigasi suatu robot, adapun jenis jenis sensor yaitu: sensor suara, sensor cahaya, sensor tekanan, sensor api, sensor suhu, sensor kelembapan, sensor ultrasonik, dan sensor magnet. Pada dasarnya sensor dangan penting di dunia robotik tergantung kebutuhan dari robot itu sendiri.



### 2.2.1. Sensor *Uvtron*

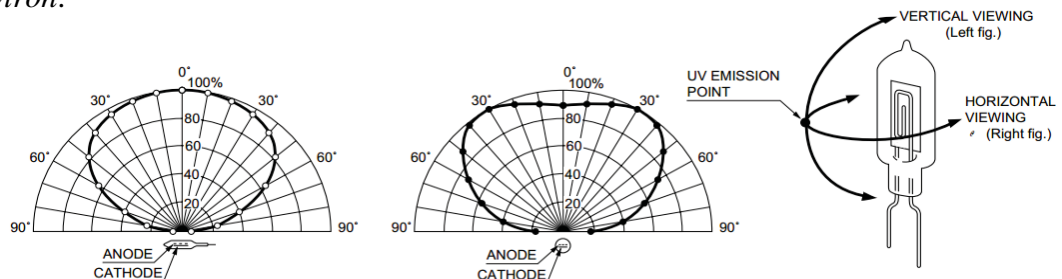
Sensor *uvtron* mampu mendeteksi api dengan cukup baik dan tidak terpengaruh oleh cahaya lain selain cahaya dari api. Untuk menghasilkan data *output* yang baik, sensor ini perlu dihubungkan ke *driver circuit* yang berfungsi sebagai *filter* dari sensor *uvtron* tersebut. Bentuk fisik sensor ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Bentuk Fisik Sensor *Uvtron* dan *Driver Circuit C10807***

(Sumber : Erni Setyaningsih, 2017)

Sensor ini memiliki sensitivitas angular yang lebar (diperlihatkan pada Gambar 2.2) sehingga dapat mendeteksi radiasi ultraviolet yang diemisikan dari api tanpa terbatas oleh sudut deteksinya. Sensor ini dapat mendeteksi api pada jarak 5 meter. Bentuk keluaran dari sensor ini berupa pulsa. Semakin besar intensitas cahaya api yang diterima oleh sensor, maka semakin banyak pula jumlah pulsa yang dihasilkan. Berikut ini gambar 2.2 adalah sudut deteksi sensor *uvtron*.



**Gambar 2.2 Sudut Deteksi Sensor *Uvtron***

(Sumber : *Datasheet Hamamatsu Flame Sensor*)



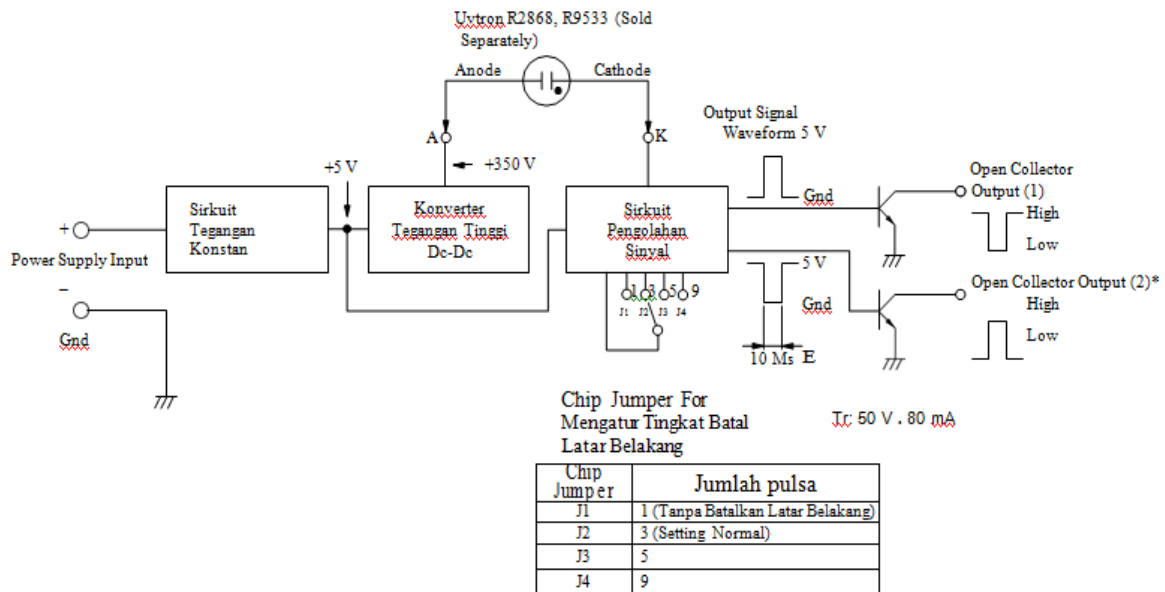
Berikut ini tabel 2.1 karakteristik dari sensor *uvtron* :

**Tabel 2.1. Karakteristik Sensor *Uvtron***

Parameter		Description / Value
Sinyal <i>output</i>		<i>Output</i> kolektor terbuka (50 V, 80 mA) 10 ms dengan <i>output</i> pulsa
Suplay tegangan <i>uvtron</i>		350 Vdc
Waktu pendinginan		Perkiraan 25 ms
Suhu operasional sekitar °C		-10 to +50 C
Tegangan <i>input</i> (DC)	C10807	12 to 24 V
	C10807-01	5 to 0.25 V
	C10807-02	6 to 9 V
Konsumsi arus (Max.)	C10807	4 mA
	C10807-01	0.3 mA
	C10807-02	0.3 mA
Range deteksi		<i>Gasoline fire at 15 m</i> <i>JP4 fire at 11 m</i> <i>N-Heptane fire at 15 m</i> <i>Kerosene fire at 11 m</i> <i>Alkohol fire at 11 m</i> <i>Methane fire at 4.5 m</i> <i>Diesel Fuel fire at 11 m</i> <i>Propane fire at 4.5 m</i>



### a. Diagram Skematik Modul Sensor *Uvtron*



**Gambar 2.3 Diagram Skematik Modul Sensor *Uvtron***

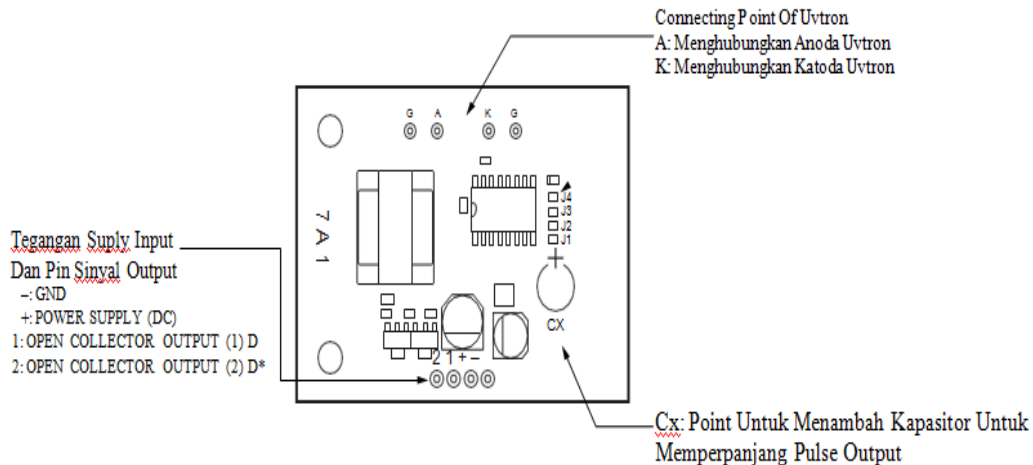
(Sumber : *Datasheet Hamamatsu Flame Sensor*)

Pada gambar 2.3 diatas dimana power supply *input* yang masuk antara 5 – 24 Vdc tergantung spesifikasi modul *uvtron* yang kita pakai berdasarkan tabel 2.1 spesifikasi diatas, kemudian suplay tadi masuk ke sirkuit tegangan konstan agar tegangan masuk ke rangkaian modul *uvtron* stabil setelah itu tegangan 5 Vdc tadi masuk ke konverter tegangan yang dimana tegangan 5 Vdc dari suply tadi akan di konvert ketegangan dc 350 Vdc melalui inverter DC to DC untuk mengaktifkan sensor *uvtron* terhubung ke pin *anoda*, serta power 5 Vdc tadi terhubung ke sirkuit pengolahan sinyal. Kemudian pin katoda dari sensor *uvtron* terhubung ke sirkuit pengolahan sinyal. Di sirkuit pengolahan sinyal data yang diterima dari pin katoda sensor *uvtron* kemudian akan di proses dimana akan menghasilkan berupa pulsa keluaran sinyal 1 aktif tinggi dan 0 aktif rendah. Agar keluaran sinyal stabil maka *output* dari sirkuit pengolahan sinyal terhubung dengan pin base transistor yang dimana spesifikasi transistor yang digunakan adalah 50 Vdc 80 mA dan maksimumnya 50 Vdc 100 mA. Dan keluaran *output* nya dari pin collector transistor berkebalikan dengan keluaran sinyal yang telah di proses oleh sirkuit



pengolahan sinyal yang dimana *output* pulsa 1 ketika keluaran dari transistor akan menjadi 0 dan sebaliknya. Berikut gambar 2.4 adalah penjelasan singkat dari rangkaian *driver* modul sensor *uvtron*

ron berdasarkan *datasheet*:



**Gambar 2.4 Driver Modul Sensor Uvtron**

(Sumber : *Datasheet* Hamamatsu Flame Sensor)

Lebar pulsa keluaran C10807 diatur ke 10 ms sebelum pengiriman. Untuk memperluas lebar pulsa, sambungkan kapasitor ke terminal ini. (Pastikan polaritasnya benar ketika menggunakan kapasitor elektrolitik.)

Contoh : CX = 1 uF, Lebar Pulsa = Perkiraan 1 s

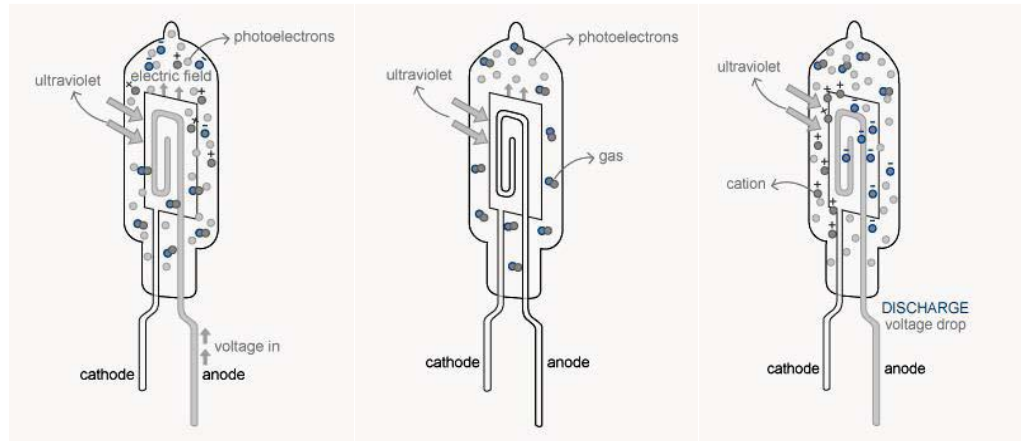
CX = 10 uF, Lebar Pulsa = Perkiraan 10 s

#### **b. Prinsip Kerja Sensor Uvtron**

Tabung *uvtron* bekerja ketika pada katoda diberikan sinyal ultraviolet, *fotoelectron* akan dipancarkan dari katoda oleh efek *fotoelectric* dan dipercepat ke anoda menggunakan medan listrik. Ketika tegangan diberikan, medan magnet meningkat, medan listrik semakin besar dan energi kinetik elektron menjadi besar untuk mengionisasi molekul gas di tabung untuk bertubrukan. Elektron yang dibangkitkan oleh ionisasi dipercepat yang membuat elektron mengionisasi molekul lainnya sebelum mencapai anoda. Ion positif yang dipercepat ke katoda dan bertubrukan menyebabkan elektron sekunder lainnya, kejadian ini



menyebabkan arus yang cukup besar diantara elektroda dan terjadi pembuangan muatan. Berikut ini gambar 2.5 prinsip kerja dari sensor *uvtron*.

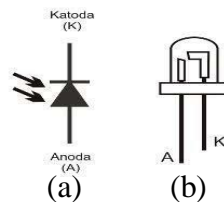


**Gambar 2.5 Prinsip kerja *Uvtron***

(Sumber : Erni Setyaningsih, 2017)

### 2.2.2. Sensor *Photodiode* / *Infrared*

*Photodiode* adalah suatu jenis dioda yang resistansinya akan berubah - ubah apabila terkena sinar cahaya. Resistansi dari *Photodiode* dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterimanya, semakin banyak cahaya yang diterima maka semakin kecil resistansi dari *Photodiode* dan begitupula sebaliknya jika semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor *Photodiode* maka semakin besar nilai resistansinya. Berikut ini gambar 2.6 simbol dan bentuk fisik dari sensor *Photodiode*.



**Gambar 2.6 (a) Simbol *Photodiode***

**(b) Bentuk Fisik *Photodiode***

(Sumber : Erni Setyaningsih dkk, 2017)



*Photodiode* terbuat dari bahan semikonduktor. *Photodiode* yang sering digunakan pada rangkaian elektronika adalah *photodiode* dengan bahan *Silicon* (Si), *Germanium* (Ge), *Indium Gallium Arsenida* (InAs), dan *Lead Selenide* (PbSe). Bahan-bahan ini menyerap cahaya melalui karakteristik jangkauan panjang gelombang. Untuk membedakan sensor *photodiode* berbahan *silicon* atau berwarna putih dengan led berwarna putih dapat dilihat dari penampang kutub positif dan *negative* nya, jika pada *photodiode* terdapat bentuk kotak hitam di antara penampang kutub positif dan negatifnya. Berikut ini tabel 2.2 menunjukkan bahan yang umum digunakan untuk membuat *photodiode*.

**Tabel 2.2 Panjang Gelombang *Photodiode* Berdasarkan Bahan Pembuatnya**

Bahan	Lebar Panjang Gelombang (nm)
<i>Silicon</i>	190 – 1100
<i>Germanium</i>	400 – 1700
<i>Indium gallium arsenide</i>	800 – 2600
<i>Lead Selenide</i>	< 1000 – 3500

Berikut ini tabel 2.3 Karakteristik dari sensor *photodiode*:

**Tabel 2.3 Karakteristik Sensor *Photodiode***

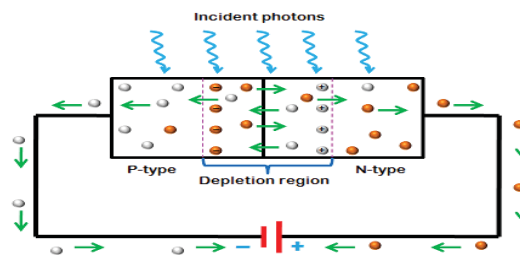
Spesifikasi	
Catu daya	3,3 V hingga 5 V
Jarak deteksi	± 100 cm
Sudut deteksi	60°
Jenis perangkat	Sensor analog
Objek deteksi	Cahaya





### a. Prinsip Kerja *Photodiode*

Sensor *photodiode* merupakan dioda yang peka terhadap cahaya, sensor *photodiode* akan mengalami perubahan resistansi pada saat menerima intensitas cahaya dan akan mengalirkan arus listrik secara *forward* sebagaimana dioda pada umumnya. Berikut ini gambar 2.7 merupakan prinsip kerja dari sensor *Photodiode*.



**Gambar 2.7 Prinsip Kerja *Photodiode***

(Sumber : Erni Setyaningsih, 2017)

Ketika sebuah photon (satu satuan energi dalam cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan suatu elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah *hole*, di mana suatu *hole* adalah bagian dari kisi - kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Gerakan pembawa - pembawa muatan melintasi *junction* meninggalkan suatu lapisan pada setiap sisi yang kosong dari pembawa - pembawa muatan. Gambar *depletion region* ini seperti pada gambar 2.7 pada sisi - N, *depletion region* terdiri dari atom - atom impuriti donor yang telah kehilangan elektron bebas yang terikat dengan atom-atom itu dan telah menjadi bermuatan positif. Pada sisi - P, *depletion region* terdiri dari atom-atom impuriti akseptor yang telah menjadi bermuatan negatif dengan jalan kehilangan *hole* yang terkait dengan atom - atom itu (yaitu *hole* diisi elektron). Pada masing - masing sisi *junction*, jumlah atom impuriti yang sama terlibat di dalam *depletion region*. Bila dua blok bahan mempunyai kerapatan *doping* yang sama, lapisan - lapisan *depletion* pada masing-masing sisi *junction* mempunyai ketebalan yang sama. Arah arus yang melalui sebuah semikonduktor adalah kebalikan dengan gerak muatan pembawa. Cara tersebut di dalam sebuah *photodiode* digunakan untuk mengumpulkan photon dan menyebabkan pembawa



muatan (seperti arus atau tegangan) mengalir/terbentuk di bagian - bagian elektroda. *Photodiode* digunakan sebagai penangkap gelombang cahaya yang dipancarkan oleh *infrared*. Besarnya tegangan atau arus listrik yang dihasilkan oleh *photodiode* tergantung besar kecilnya radiasi yang dipancarkan oleh *infrared* (Lilik Gunarto, 2011). *Photodiode* akan mengalirkan arus yang membentuk fungsi linier terhadap intensitas cahaya yang diterima. Arus ini umumnya teratur terhadap *power density* (Dp). *Power density* (Dp) adalah jumlah daya (laju waktu perpindahan energi) per satuan volume. Perbandingan antara arus keluaran dengan *power density* disebut sebagai *current responsivity*. Arus yang dimaksud adalah arus bocor ketika *photodiode* tersebut disinari dan dalam keadaan dipanjar mundur.

Adapun rumus perhitungan untuk menghitung nilai resistansi dari *photodiode* tersebut yaitu :

$$V_{out} = \frac{Data\ ADC}{1024} V_{in} \quad (2.1)$$

$$R_{Photodiode} = \frac{V_{out}}{V_{in}-V_{out}} \times R_s \quad (2.2)$$

Keterangan :

$V_{in}$  = tegangan masukan pada rangkaian sensor *photodiode*

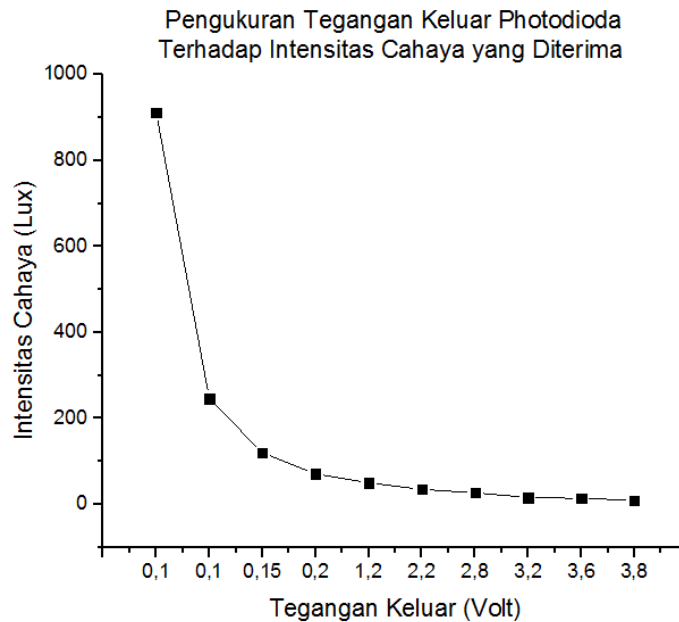
$V_{out}$  = tegangan keluaran pada rangkaian sensor *photodiode*

$R_{Photodiode}$  = resistansi dari *photodiode*

$R_2$  = resistansi resistor pada rangkaian sensor *photodiode*



Adapun berikut ini gambar 2.8 grafik hubungan tegangan keluar sensor *photodiode* dengan intensitas cahaya.



**Gambar 2.8 Grafik Hubungan Tegangan Keluar Sensor *Photodiode* Dengan Intensitas Cahaya**

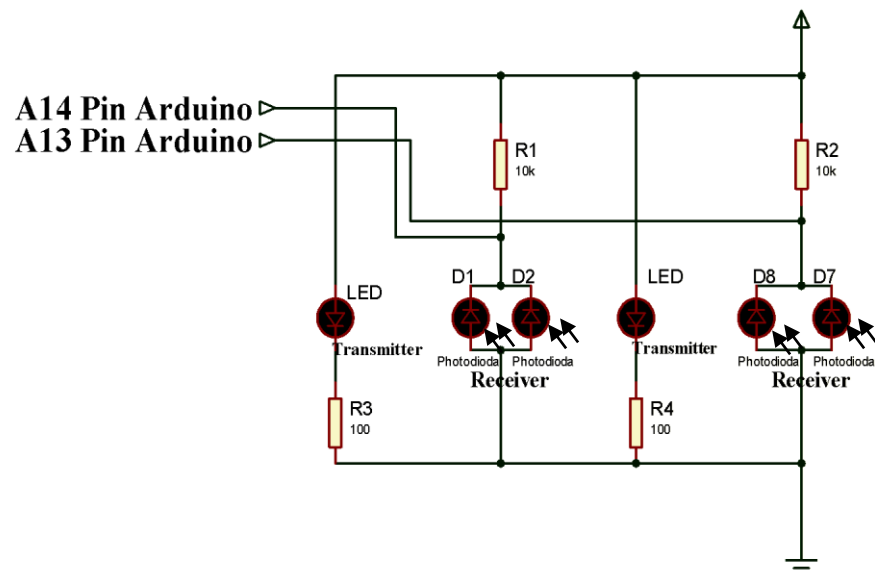
(Sumber : Erni Setyaningsih dkk, 2017)

Dimana pada gambar grafik diatas bahwa sensor *photodiode* ketika intensitas cahaya yang ditangkap oleh sensor sangat banyak maka menyebabkan resistansi sensor kecil, sedangkan cahaya atau infrared yang ditangkap oleh sensor sedikit maka resistansi sensor semakin besar.



### a. Penerapan Sensor *Photodiode*

Pada perancangan robot pemadam api, sensor *photodiode* digunakan sebagai alat inputan yaitu rangkaian sensor garis dan sensor api. Berikut ini gambar 2.9 rangkaian skematik sensor garis.

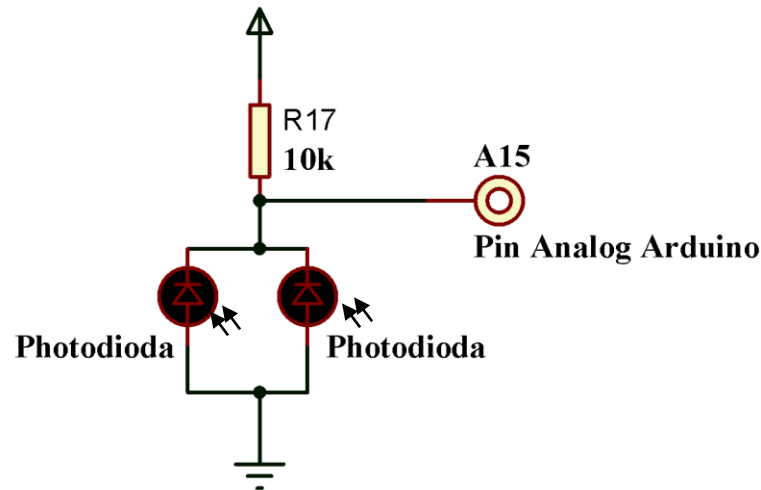


**Gambar 2.9 Rangkaian Skematik Sensor Garis**

Dimana dari gambar 2.9 yaitu sebagai rangkaian skematik sensor garis, disini untuk sensor *photodiode* yang digunakan ada 4 *photodiode* yang di paralelkan dua – dua berfungsi sebagai *receiver* atau menangkap pantulan cahaya dari *transmitter* berupa led. Rangkaian *receiver* pada gambar diatas dimana *photodiode* untuk kutub positif nya terhubung ke pin gnd power dan kutub negatif *photodiode* terhubung ke resistor 10 k dan salah satu kaki resistor terhubung ke pin Vcc power 5 Vdc. Untuk *output* dari pembacaan rangkaian sensor diatas dimana pin analog arduino terhubung antara kaki negatif dan kaki resistor 10 k ohm. Dimana dari hasil pembacaan sensor atau *output* dari sensor ke arduino ketika sensor tersebut diletakkan pada garis hitam data pembacaan analog sensor nilai nya semakin besar karena pantulan dari *transmitter* tidak dapat di terima dengan baik oleh sensor *photodiode*.



Sedangkan pada gambar 2.10 berikut ini adalah gambar rangkaian skematik sensor api.



**Gambar 2.10 Rangkaian Skematik Sensor Api**

Untuk rangkaian sensor api diatas dimana sama halnya dengan sensor garis sebelum nya. Namun, untuk sensor api tidak menggunakan *transmitter* atau led, tetapi sensor flame ini langsung menangkap cahaya dari api atau cahaya infrared kemudian sinyal tersebut dikirim ke arduino. Dimana jarak deteksi menggunakan rangkaian ini dibandingkan dengan rangkaian sebelum nya jarak deteksi dari sensor ini  $\pm 70$  cm.

### 2.2.3. Sensor Jarak

#### a. Sensor Ultrasonik Ping Parallax

Sensor ultrasonik adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu di depannya, frekuensi kerjanya pada daerah di atas gelombang suara dari 40 KHz hingga 400 KHz. Sensor ultrasonik terdiri dari dari dua unit, yaitu unit pemancar dan unit penerima. Struktur unit pemancar dan penerima sangatlah sederhana, sebuah kristal *piezoelectric* dihubungkan dengan mekanik jangkar dan hanya dihubungkan dengan diafragma penggetar. Tegangan bolak - balik yang



memiliki frekuensi kerja 40 KHz – 400 KHz diberikan pada plat logam. Struktur atom dari kristal *piezoelectric* akan berkontraksi (mengikat), mengembang atau menyusut terhadap polaritas tegangan yang diberikan dan ini disebut dengan efek *piezoelectric*. Berikut ini gambar 2.11 adalah sensor ultrasonik ping parallax.



**Gambar 2.11 Sensor Jarak Ultrasonik Ping Parallax**

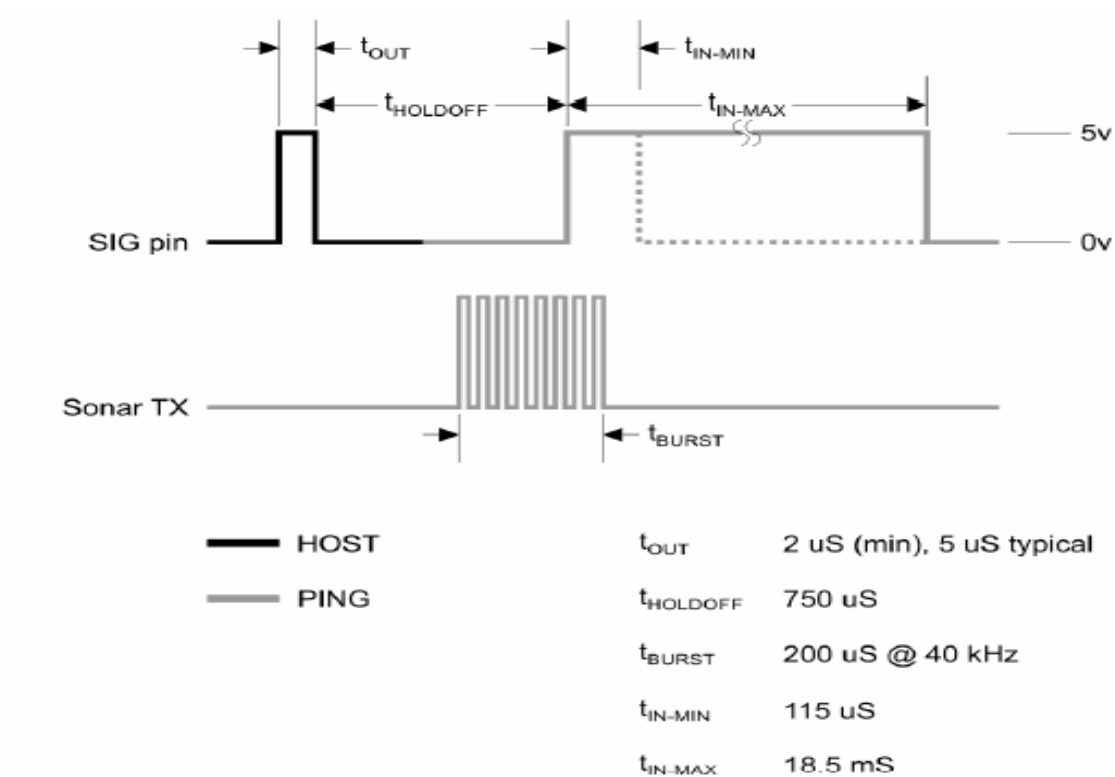
(Sumber : M. Agung, 2019)

Sensor ping mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 KHz) selama  $t = 200$  us kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor ping memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali (pulsa trigger dengan tout min 2  $\mu$ s). Spesifikasi sensor ini :

- a. Kisaran pengukuran 3 cm – 3 m.
- b. *Input trigger – positive TTL pulse*, 2  $\mu$ s min, 5  $\mu$ s tipikal.
- c. *Echo hold off* 750  $\mu$ s dari *fall of trigger pulse*.
- d. *Delay* sebelum pengukuran selanjutnya 200  $\mu$ s.
- e. *Burst indicator* LED menampilkan aktifitas sensor.



Diagram waktu sensor ping dapat dilihat pada gambar 2.12.



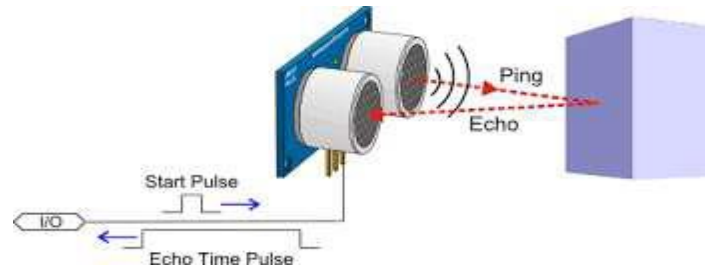
**Gambar 2.12 Diagram Waktu Sensor Ping**

(Sumber : M. Agung, 2019)

Pada dasarnya, Sensor ultrasonik ping terdiri dari sebuah chip pembangkit sinyal 40 KHz, sebuah speaker ultrasonik dan sebuah mikropon ultrasonik. Speaker ultrasonik mengubah sinyal 40 KHz menjadi suara sementara mikropon ultrasonik berfungsi untuk mendeteksi pantulan suaranya. Sensor ping mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) selama (200  $\mu$ s) kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor ping memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali (pulsa trigger dengan TOUT min 2  $\mu$ s). Prinsip kerja sensor ping dapat dilihat pada gambar 2.7. Gelombang ultrasonik ini melalui udara dengan kecepatan 344 meter per detik, mengenai objek dan memantul kembali ke sensor. PING mengeluarkan pulsa *output* high pada pin SIG setelah memancarkan gelombang ultrasonik dan setelah gelombang pantulan terdeteksi PING akan membuat *output*



low pada pin SIG. Lebar pulsa *High* (tIN) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk 2 x jarak ukur dengan obyek. Berikut ini gambar 2.13 adalah prinsip kerja dari sensor ping.



**Gambar 2.13 Prinsip Kerja Sensor Ping**

(Sumber : M. Agung, 2019)

Prinsip kerja sensor ini adalah *transmitter* mengirimkan sebuah gelombang ultrasonik lalu diukur dengan waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari objek lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan objek, dimana kecepatan gelombang suara pada udara adalah 340 m/s sama dengan 0.034 cm/us, sehingga jarak sensor dengan objek dapat ditentukan persamaan sebagai berikut :

$$s = \frac{0.034xt}{2} \quad (2.3)$$

Keterangan :

s = jarak (cm)

t = waktu tempuh (us)





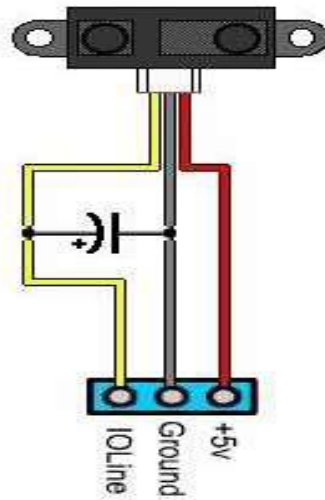
#### b. Sensor Sharp GP

Sensor sharp gp adalah sensor jarak analog yang menggunakan infrared untuk mendeteksi jarak suatu benda. Sensor ini termasuk pada sensor jarak kategori optik. Pada dasarnya, sensor ini sama seperti sensor *infrared* konvensional, sensor sharp gp memiliki bagian *transmitter / emitter* dan *receiver* (detektor). Bagian *transmitter* akan memancarkan sinyal IR, sedangkan pantulan dari IR (apabila mengenai sebuah objek) akan ditangkap oleh bagian detektor yang terdiri dari lensa pemfokus dan sebuah linear *charge-couple device* (CCD) array. Linier CCD array terdiri atas sederetan elemen peka cahaya yang disebut piksel (*Picture element*). Berikut ini tabel 2.4 karakteristik dari sensor sharp gp :

**Tabel 2.4 Karakteristik Sensor Sharp Gp**

<b>Parameter</b>	<b>Simbol</b>	<b>Rating</b>
<i>Supply voltage</i>	Vcc	4.5 to 5.5V
Range jarak deteksi	L	10 to 80cm
<i>Output type</i>	-	<i>Analog output</i>
<i>Operating temperature</i>	-	-10 to +60°C

Sensor ini memiliki 3 pin yaitu *voltage* , *ground*, *signal*. *Output* sensor ini adalah analog tunggal, dapat terhubung ke sebuah konverter analog ke digital untuk mengambil pengukuran jarak, atau *output* dapat dihubungkan ke komparator untuk deteksi ambang batas. Berikut ini gambar 2.14 adalah bentuk serta nama bagian bagian pin sensor sharp gp.



**Gambar 2.14 Pin Out Sensor Sharp GP**

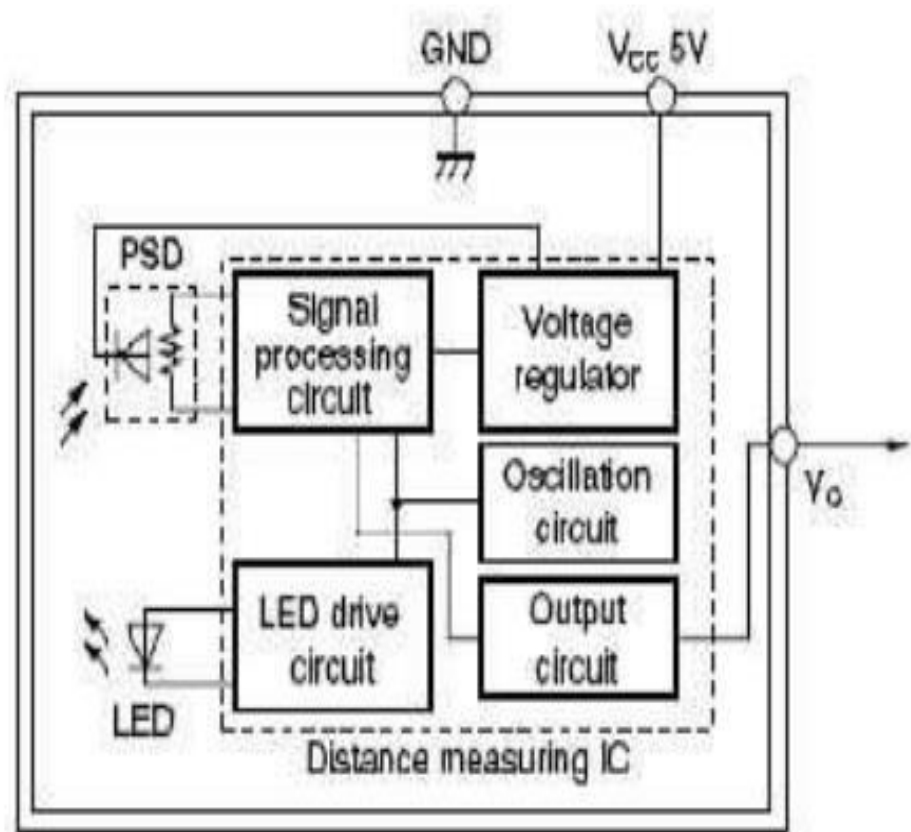
(Sumber : M. Agung, 2019)

1) Prinsip Kerja Sensor Sharp GP2D12

Sensor ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan sensor jarak ultrasonik, dimana dapat mengatasi tipuan - tipuan dalam bentuk cermin, tetapi sensor ini memiliki kelemahan apabila obyek yang dideteksi berupa dinding yang bergelombang di mana sinyal sonar akan dipantulkan ke arah lain sehingga jarak tidak terdeteksi. Untuk mengatasi hal ini, sensor inframerah sebagai pendukung sistem pengukuran jarak adalah alternatif yang baik. Berbeda dengan sensor ultrasonik, sensor inframerah tidak menghitung waktu pancaran sinar melainkan menghitung di bagian mana sinar inframerah yang dikembalikan diterima oleh rangkaian phototransistor. Semakin jauh jarak maka semakin ke kanan sinar inframerah yang diterima pada rangkaian phototransistor dan semakin kecil tegangan *output* nya. Hasil *output* ini akan diterima oleh ADC terlebih dahulu sebelum diambil oleh mikrokontroler.



Pada gambar 2.15 adalah blok diagram sensor *Sharp GP2D12* dimana *voltage regulator* berfungsi sebagai sumber 5 Vdc untuk mengaktifkan *Sharp GP2D12*. Kemudian bagian *LED Drive circuit* pada *Sharp GP2D12* berfungsi sebagai *transmitter* akan memancarkan cahaya inframerah ke objek dan memantulkan dalam sudut yang sama. Apabila objek menjauh maka sinar akan diterima semakin lama dan tegangan keluaran akan semakin mengecil. Kemudian sinar pantulan dari *transmitter* diterima pada phototransistor yang ada di dalam bagian *signal processing circuit* dan menghasilkan tegangan analog yang dikeluarkan ke bagian *output*. Berikut ini gambar 2.15 blok diagram dari sensor GP2D12.

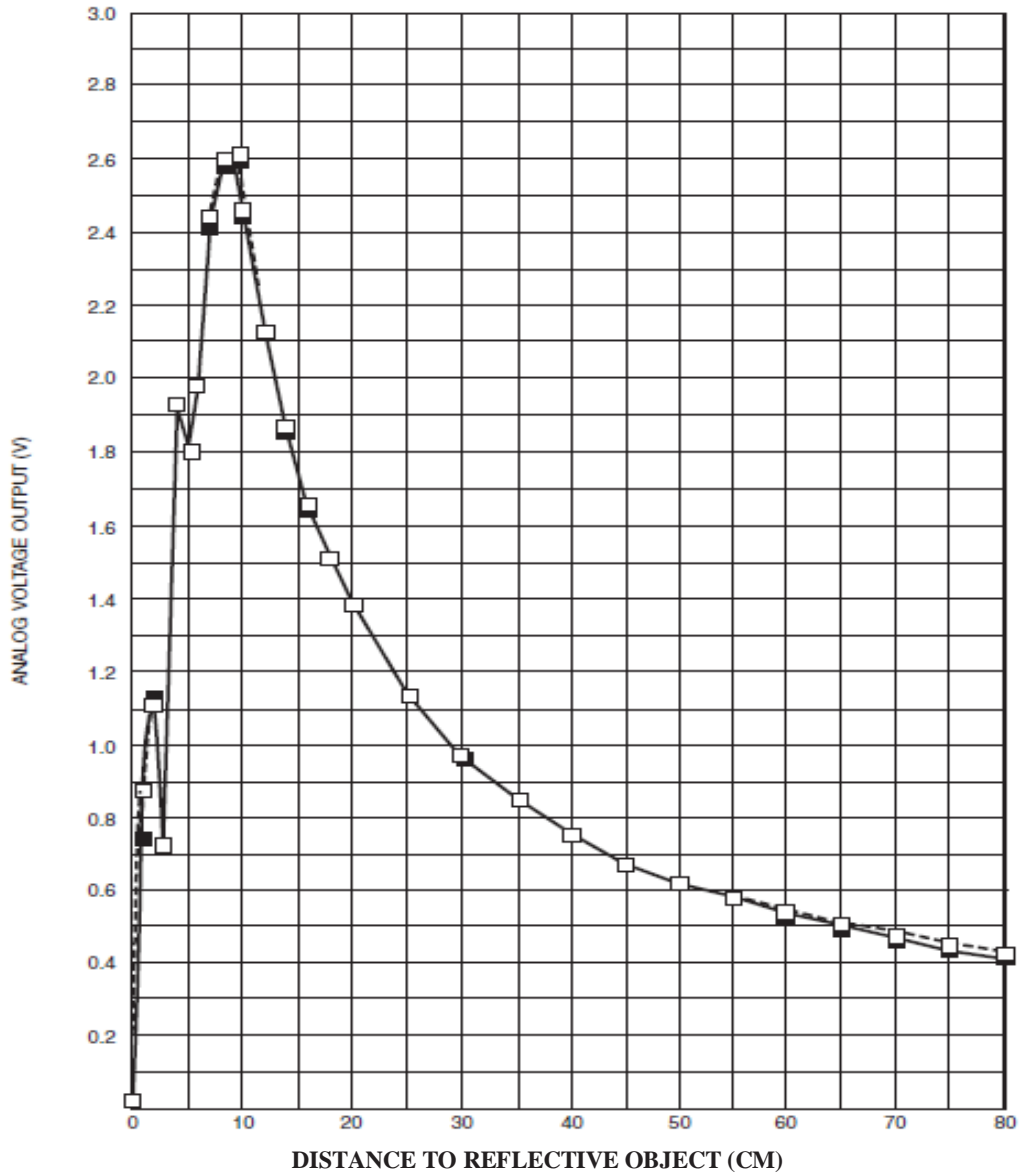


**Gambar 2.15 GP2D12 Blok Diagram**

(Sumber : SHARP Corporation, 2005)



Hasil *output* tegangan pada sensor sharp gp tidaklah linier melainkan membentuk kurva seperti pada gambar 2.16 berikut. Sensor mulai menampilkan jarak yang valid saat berada di jarak sekitar 10 cm hingga 80 cm.



**Gambar 2.16 Grafik Sharp GP2D12 Perbandingan Jarak Terhadap Tegangan**

(Sumber : SHARP Corporation, 2005)

Untuk mendapatkan data jarak yang linear maka data analog dari sensor sharp gp perlu di linearisasi terlebih dahulu yang mana persamaan untuk

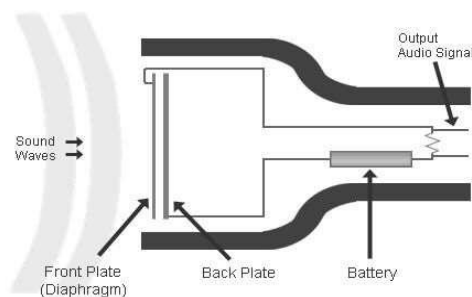


mendapatkan data jarak dalam satuan cm yaitu  $(10650.08 * \text{data ADC}^{-0.935}) - 10$ , dimana *transmitter* mengirimkan sebuah pancaran sinar infrared dengan waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari objek lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan objek, maka persamaan jarak sensor sharp gp yaitu :

$$\text{Jarak} = \frac{(10650.08 * \text{data ADC}^{-0.935}) - 10}{2} \quad (2.4)$$

#### 2.2.4. Sensor Condensor Mic

*Condensor Mic* merupakan komponen elektronik yang bersifat sebagai sensor suara, *mic condenser* sendiri terdiri dari lempengan kapasitif yang disekat pada kerapatan beberapa *micron*. Sementara itu prinsip kerja dari *mic condenser* merupakan proses pengisian dan pembuangan kapasitansi yang diakibatkan oleh lempengan condenser yang bergetar akibat frekuensi suara yang diterimanya sehingga mengakibatkan frekuensi kapasitansi yang berubah - ubah pula pada saat ada suara yang diterima. *Mic* merupakan transduser yang mendeteksi sinyal suara dan menghasilkan sinyal elektrik berupa tegangan atau arus yang *proporsional* terhadap sinyal suara. *Microphone* memberikan *output* sinyal analog yang sebanding dengan perubahan tekanan akustik bergantung pada *fleksibilitas diaphragma*. Sinyal listrik kemudian digunakan untuk pengiriman, perekaman atau pengukuran pada karakteristik sinyal akustik. Adapun konstruksi dan bagian *mic condenser* ditunjukkan pada Gambar 2.17 berikut.



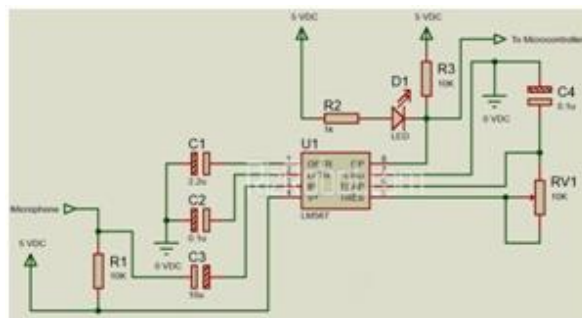
**Gambar 2.17 Konstruksi dan Bagian Mic Condensor**

(Sumber : M. Agung, 2019)



#### a. Prinsip Kerja *Mic Condenser*

Kapasitor memiliki dua lempengan dengan terdapat tegangan diantara dua lempengan tersebut. Pada *mic condenser*, salah satu lempengan dibuat dari bahan yang sangat tipis dan berfungsi sebagai *diaphragm* (rongga). Saat gelombang suara mengenai *diaphragm*, maka *diaphragm* akan bergetar dan merubah jarak pada kedua lempengan sehingga merubah nilai kapasitansinya. Ketika kedua lempengan saling berdekatan, nilai kapasitansi naik dan terjadi pengisian arus. Ketika kedua lempengan saling berjauhan, nilai kapasitansi turun dan terjadi pengosongan arus. Agar *mic condenser* dapat bekerja maka diperlukan tegangan yang melewati kapasitor. Tegangan ini dapat disuplai oleh *bateri* maupun oleh *phantom power eksternal*. *Phantom power* merupakan metode untuk mengirimkan tegangan DC melalui kabel *microphone desain alternative* untuk *mic condenser* adalah *microphone electret condenser*, menggunakan kapasitor jenis khusus yang memiliki tegangan permanen yang dibuat *built in*. Sehingga *mic* ini tidak memerlukan tegangan eksternal. Adapun skematik dari *mic condenser* ditunjukkan sebagaimana gambar 2.18.



**Gambar 2.18. Diagram Skematik *Mic Condenser***

#### 2.2.5. Sensor Kompas HMC5883L

HMC5883L adalah sebuah sensor yang digunakan untuk menunjukkan arah mata angin, atau bisa juga disebut sebagai kompas digital. HMC5883L adalah modul multi-chip yang dirancang untuk penginderaan medan magnet rendah dengan antarmuka digital untuk aplikasi seperti kompas dan magnetometri. HMC5883L ditambah plus amplifikasi yang mengandung ASIC, driver strap



degaussing otomatis, pembatalan offset, dan ADC 12-bit yang memungkinkan kompas heading 1° hingga 2° ketepatan. Bus serial I2C memungkinkan antarmuka yang mudah. Aplikasi HMC5883L terdapat pada Ponsel, Netbook, Elektronik Konsumen, Sistem Navigasi Otomatis, dan Perangkat Navigasi. Berikut ini gambar 2.19 adalah bentuk fisik dari sensor kompas HMC5883L.



**Gambar 2.19 Bentuk Fisik dari Sensor Kompas HMC5883L**

(Sumber : [http://www.bengkel-elektro.com/product.php?category=93&product\\_id=217](http://www.bengkel-elektro.com/product.php?category=93&product_id=217))

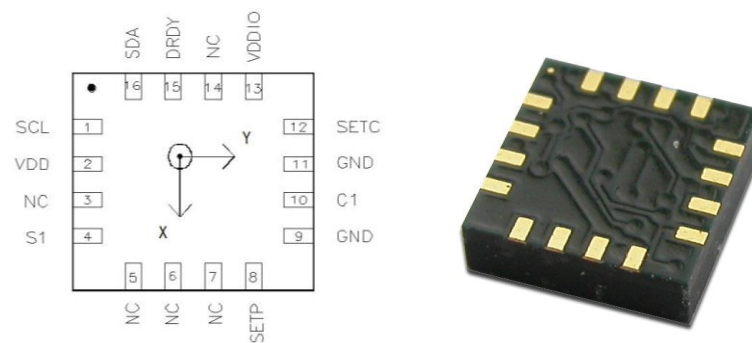
Dimana spesifikasi dari sensor kompas HMC5883L adalah sebagai berikut ini :

- ADC 12-bit ADC terkopling dengan sensor AMR *low noise* yang akan menghasilkan resolusi 2-milli gauss pada medan  $\pm 8$  gauss
- Mengizinkan akurasi kompas 1 sampai 2 derajat
- Tersedia *self-test* yaitu fitur tambahan yang dikemas dalam ASIC yang dapat digunakan untuk:
  - Secara cepat menguji fungsi - fungsi sensor tanpa perlu membutuhkan peralatan pengujian yang mahal.
  - Pencocokan sensitifitas dari sumbu / sensor yang berbeda
  - Menyetel pergeseran sensitifitas karena suhu
- Tegangan kerjanya rendah (2.16 ~ 3.6V) dan konsumsi daya rendah (100 uA). Cocok untuk aplikasi yang dicatu menggunakan *battery*



- Tersedia rangkaian *drive strap*
- Menyediakan demagnetisasi sensor untuk setiap pengukuran, dan juga kompensasi *offset* untuk mendapatkan pengukuran yang konsisten dengan akurasi hingga 1 sampai 2 derajat dan mereduksi perlunya kalibrasi ulang
- Antarmuka digital I2C
- *Range* medan magnet yang dapat diukur cukup lebar ( $\pm 8$  Oe)
- Sensor bisa digunakan pada lingkungan dengan medan magnet yang kuat dengan akurasi kompas 1 sampai 2 derajat

Berikut ini gambar 2.20 adalah data sheet ic HMC5883L serta bentuk fisik dari ic HMC5883L.



a) Data Sheet IC HMC5883L b) Bentuk Fisik IC HMC5883L

**Gambar 2.20 a) Data Sheet IC HMC5883L**

**b) Bentuk Fisik IC HMC5883L**

(Sumber : Honeywell, 2013)

Berikut ini Tabel 2.5 adalah penjelasan mengenai Data sheet dari IC HMC5883L

**Tabel 2.5 Data sheet IC HMC5883L**

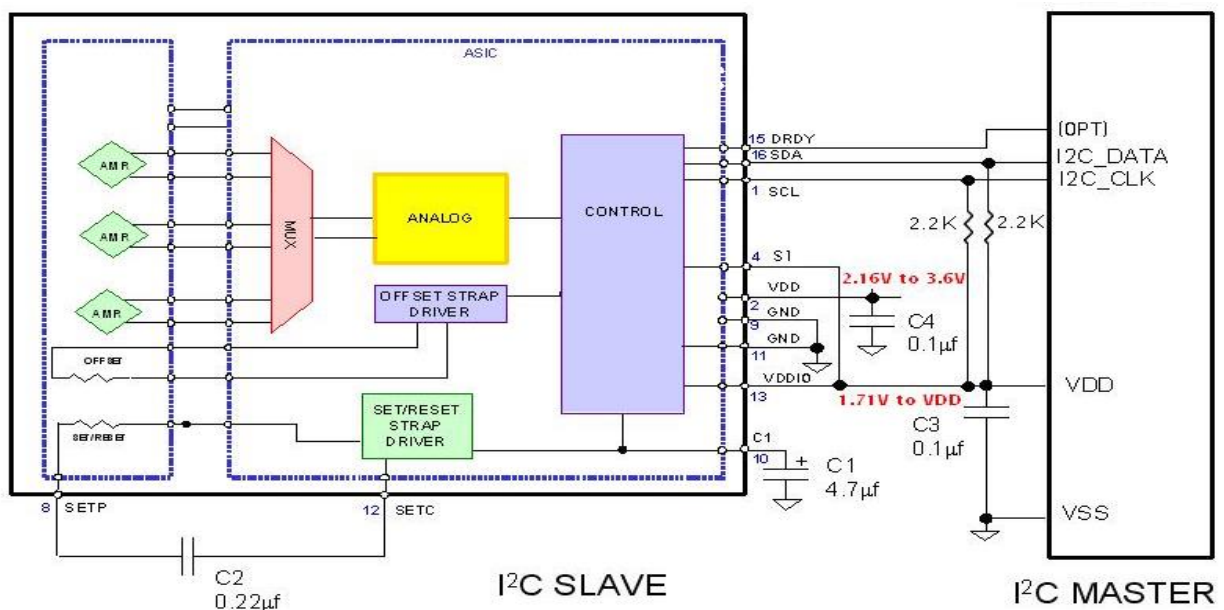
Pin	Name	Description
1	SCL	<i>Serial Clock – I<sup>2</sup>C Master/Slave Clock</i>
2	VDD	<i>Power Supply (2.16V to 3.6V)</i>
3	NC	<i>Not to be Connected</i>





4	S1	Tie to VDDIO
5	NC	Not to be Connected
6	NC	Not to be Connected
7	NC	Not to be Connected
8	SETP	Set/Reset Strap Positive – S/R Capacitor (C2) Connection
9	GND	Supply Ground
10	C1	Reservoir Capacitor (C1) Connection
11	GND	Supply Ground
12	SETC	S/R Capacitor (C2) Connection – Driver Side
13	VDDIO	IO Power Supply (1.71V to VDD)
14	NC	Not to be Connected
15	DRDY	Data Ready, Interrupt Pin. Internally pulled high. Optional connection. Rendah selama 250 u detik ketika data ditempatkan di register output data.
16	SDA	Serial Data – I <sup>2</sup> C Master/Slave Data

Serta berikut ini gambar 2.21 adalah diagram skematik sensor HMC5883L :



**Gambar 2.21 Diagram Skematik HMC5883L**

(Sumber : Honeywell, 2013)



---

a. Prinsip Kerja Sensor Kompas HMC5883L

Kompas merupakan salah satu alat penting dalam navigasi yang berfungsi sebagai penunjuk arah berdasarkan posisi kutub bumi. Sensor kompas HMC5883L sebuah kompas yang bekerja dengan menyelaraskan medan magnet bumi. Karena jarum kompas terbuat dari bahan besi, yang sejalan dengan ayunan pada bantalan di pusat seperti medan magnet bumi menariknya ke dalam keselarasan. Medan magnet ini berkembang di seluruh permukaan bumi sehingga dapat digunakan untuk membantu dalam menunjuk arah mata angin. *Magnetometer* menggunakan medan magnet tersebut, namun tidak menarik pada jarum kecil di dalamnya. Di dalam *magnetometer* terdapat tiga sensor *magnetoresistif* pada tiga sumbu. Hal tersebut menjelaskan bahwa efek medan magnet pada sensor ini mengatur aliran arus melalui sensor dengan menerapkan skala (milli-gauss). *The Honeywell HMC5883L* adalah permukaan *-mount*, modul multi *-chip* yang dirancang untuk medan magnet rendah penginderaan dengan antarmuka digital untuk aplikasi seperti *compassing* dan *magnetometry*. HMC5883L ini memanfaatkan *Anisotropic Magnetoresistive* (AMR) teknologi *Honeywell* yang memberikan keuntungan lebih dari teknologi sensor magnetik lainnya. Sensor *Magnetic Honeywell* adalah salah satu sensor medan rendah paling sensitif dan dapat diandalkan dalam industri. Sensor HMC5883L ini adalah sensor yang sangat sensitif sekali terhadap rotasi dan arah hadap sensor, dikarenakan sensor ini menggunakan medan magnet sebagai acuan dari pendeteksiannya / sebuah modul yang digunakan untuk menunjukkan arah mata angin digital, atau juga disebut kompas digital. Modul ini menggunakan komponen utama berupa IC HMC5883 yang merupakan IC kompas digital 3 *axis* yang memiliki *interface* berupa 2 pin I2C. Sensor yang memiliki respon terhadap rotasi atau putaran, jadi sensor ini akan memiliki nilai yang berbeda saat dia berada dengan posisi hadap yang berbeda, misal jika sensor ini menghadap ke utara dengan ke selatan, maka hasilnya saat posisi menghadap ke utara akan berbeda dengan pada saat sensor menghadap ke posisi selatan. Adapun persamaan dalam menentukan sudut menggunakan sensor ini yaitu :



$$\text{Sudut} = \frac{\arctan 2(y/x) \times 180}{\pi} \quad (2.5)$$

Kemudian apabila dari hasil perhitungan diatas dimana nilai sudut nya kurang dari nol maka :

$$\text{Sudut} = 360 + \text{Sudut} \quad (2.6)$$

b. Karakteristik HMC5883L

Berikut ini tabel 2.6 karakteristik dari sensor kompas HMC5883L

**Tabel 2.6 Karakteristik Sensor Kompas HMC5883L**

Characteristics	Conditions*	Min	Typ	Max	Units
<b>Power Supply</b>					
Tegangan Suplai	VDD Referenced to AGND VDDIO Referenced to DGND	2.16 1.71	2.5 1.8	3.6 VDD+0.1	Volts Volts
Draw Current saat ini	Mode siaga Mode Pengukuran (7,5 Hz ODR; Tidak ada rata-rata pengukuran, MA1: MA0 = 00) VDD = 2.5V, VDDIO = 1.8V (Pasokan Ganda) VDD = VDDIO = 2.5V (Pasokan Tunggal)	- -	2 100	- -	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
<b>Performance</b>					
Kisaran Bidang	Full scale (FS)	-8		+8	gauss
Rentang Dinamis Mag	Kontrol gain 3-bit	$\pm 1$		$\pm 8$	gauss
Sensitivitas (Penguat)	VDD = 3.0 V, GN=0 hingga 7, 12-bit ADC	230		1370	LSb/gauss
Resolusi Digital	VDD=3.0V, GN=0 hingga 7, 1-LSb, 12-bit ADC	0.73		4.35	milli-gauss
Lantai Kebisingan (Resolusi Lapangan)	VDD=3.0V, GN=0, Tidak ada rata – rata pengukuran, standar Deviasi 100 sampel (lihat grafik kinerja khas di bawah)		2		milli-gauss
Linearitas	$\pm 2.0$ kisaran <i>input</i> gauss			0.1	$\pm\%$ FS
Histerisisi	$\pm 2.0$ kisaran <i>input</i> gauss		$\pm 25$		ppm
Sensitivitas Cross-Axis	Kondisi pengujian: Bidang Silang = 0.5 gauss, Happlied = $\pm 3$ gauss		$\pm 0.2\%$		$\%$ FS/gauss
Tingkat Output (ODR)	Mode Pengukuran kontinyu Mode Pengukuran Tunggal	0.75		75 160	Hz Hz



Periode Pengukuran	Dari menerima perintah hingga data siap		6		ms
Waktu Nyalakan	Ready for I2C commands		200		$\mu$ s
	Sirkuit Analog Siap untuk Pengukuran		50		ms
Dapatkan Toleransi	Semua pengaturan rentang gain / dinamis		$\pm 5$		%
Alamat I <sup>2</sup> C	Alamat baca 8-bit		0x3D		hex
	Alamat tulis 8-bit		0x3C		hex
Tingkat I2C	Dikendalikan oleh I2C Master			400	kHz
I <sup>2</sup> C Hysteresis	Hysteresis of Schmitt memicu <i>input</i> pada SCL dan SDA - Turun (VDDIO=1.8V) naik (VDDIO=1.8V)		0.2*VDDIO 0.8*VDDIO		Volts Volts
Tes Mandiri	Sumbu X & Y		$\pm 1.16$		gauss
	Sumbu Z		$\pm 1.08$		
	X & Y & Z Axes (GN=5) Positive Bias	243		575	LSb
	X & Y & Z Axes (GN=5) Negative Bias	-575		-243	

### General

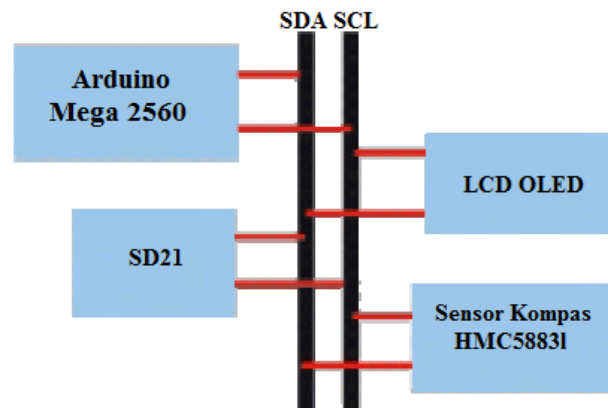
Suhu Operasional	Ambient	-30		85	$^{\circ}$ C
Suhu Penyimpanan	Ambient, Tidak bias	-40		125	$^{\circ}$ C

### 2.3. Komunikasi I2C

IIC (sering ditulis juga I2C) singkatan dari *Inter Integrated Circuit* yang dikembangkan oleh *Philips Semiconductor* sejak tahun 1992, dengan konsep dasar komunikasi 2 arah antar IC atau antar sistem secara serial menggunakan 2 kabel. Komunikasi I2C bersifat *synchronous* namun berbeda dengan SPI karena I2C menggunakan protocol dan hanya menggunakan dua kabel untuk komunikasi, yaitu *Synchronous clock* (SCL) dan *Synchronous data* (SDA). Secara berurutan data dikirim dari *master* ke *slave* kemudian (setelah komunikasi *master* ke *slave* selesai) dari *slave* ke *master*.

I2C merupakan protokol komunikasi serial dimana setiap bit data ditransfer pada jalur SDA yang disinkronisasikan dengan pulsa *clock* pada jalur SCL. Jalur data tidak dapat berubah ketika jalur *clock* berada dalam kondisi *high*.

Dalam I2C, setiap alamat atau data yang ditransmisikan harus dibentuk dalam sebuah paket dengan panjang 9 bit dimana 8 bit pertama disimpan dalam jalur SDA oleh *transmitter*, dan bit ke-9 merupakan *acknowledge* (atau *not acknowledge*) oleh *receiver*. Berikut ini gambar 2.22 contoh sistem I2C.



**Gambar 2.22 Contoh Sistem dengan I2C**

(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)

Fitur utama I2C bus adalah sebagai berikut :

- Hanya melibatkan dua kabel yaitu *serial data line* (selanjutnya disebut SDA) dan *serial clock line* (selanjutnya disebut SCL).
- Setiap IC yang terhubung dalam I2C memiliki alamat yang unik yang dapat diakses secara *software* dengan *master/slave protocol* yang sederhana, dan mampu mengakomodasikan *multi master*.
- I2C merupakan serial bus dengan orientasi data 8 bit (byte), komunikasi 2 arah, dengan kecepatan transfer data sampai 100Kbit/s pada mode standart dan 3,4 Mbit/s pada mode kecepatan tinggi.
- Jumlah IC yang dapat dihubungkan pada I2C bus hanya dibatasi oleh beban kapasitansi pada bus yaitu maksimum 400pF.

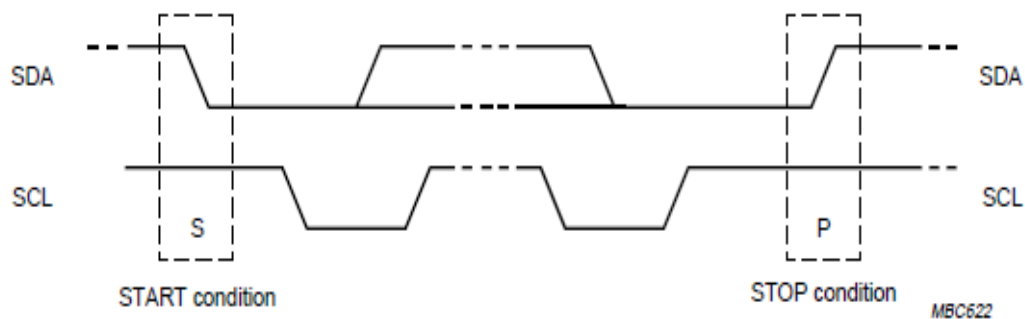
Keuntungan yang didapat dengan menggunakan I2C antara lain :

- Meminimalkan jalur hubungan antar IC (bandingkan dengan *parallel bus*)
- Menghemat luasan PCB yang dibutuhkan.
- Membuat sistem yang didesain berorientasi *software* (mudah diekspan dan *diupgrade*).
- Membuat sistem yang didesain menjadi standar, sehingga dapat dihubungkan dengan sistem lain yang juga menggunakan I2C bus.



### a. Kondisi *START* dan *STOP*

Apabila pada SDA terjadi transisi dari kondisi *high* ke kondisi *low* pada saat SCL berkondisi *high*, maka terjadilah kondisi *START*. Apabila pada SDA terjadi transisi dari kondisi *low* ke kondisi *high* pada saat SCL berkondisi *high*, maka terjadilah kondisi *STOP*. Kondisi *START* dan *STOP* selalu dibangkitkan oleh *Master*, dan bus dikatakan sibuk setelah *START* dan dikatakan bebas setelah *STOP*. Berikut ini gambar 2.23 kondisi *start* dan stop pengiriman data komunikasi I2C.

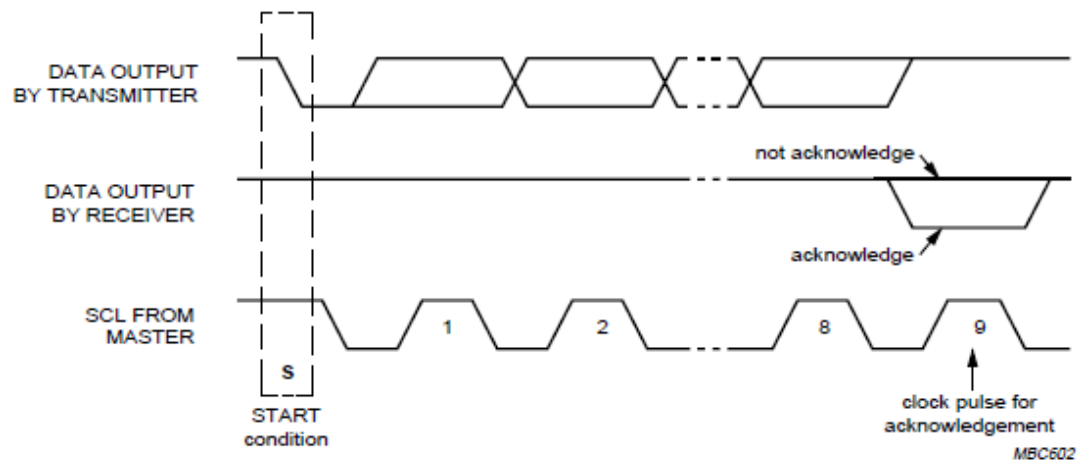


**Gambar 2.23 Kondisi *Start* dan *Stop***

(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)

### b. Kondisi *ACK* dan *NACK*

Kondisi *ACK* terjadi apabila *receiver* “menarik” SDA pada kondisi *low* selama 1 sinyal clock. Kondisi *NACK* terjadi apa bila *receiver* “membebaskan” SDA pada kondisi *high* selama 1 sinyal clock. Berikut ini gambar 2.24 kondisi *ACK* dan *NACK* pengiriman data komunikasi I2C.



**Gambar 2.24 Kondisi Ack dan Nack**

(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)

**c. Cara kerja I2C (Format 7 bit *address*)**

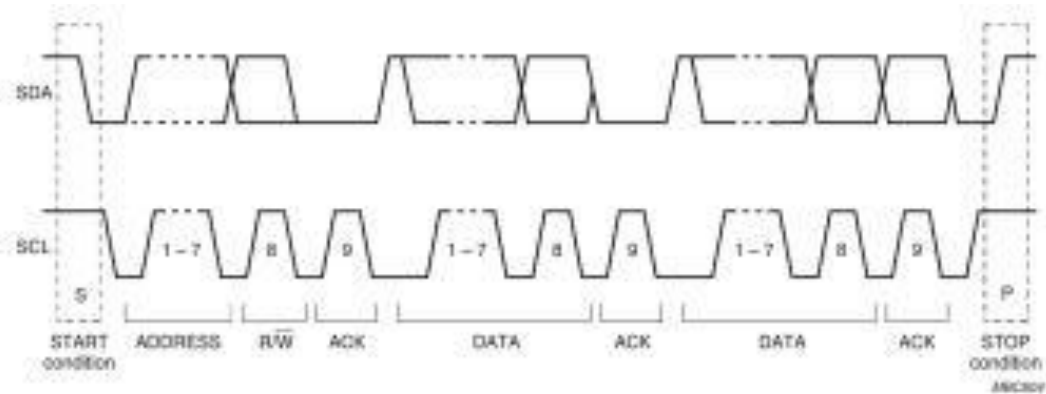
Cara kerja I2C dapat dibedakan menjadi format 7 bit *addressing* dan format 10 bit *addressing*, dalam pembahasan ini akan membahas format 7 bit *addressing*. Inisiatif komunikasi / transfer data selalu oleh *master* dengan mengirimkan kondisi *START* diikuti dengan *address* byte (7 bit *address* + 1 bit pengarah/data direction bit) seperti pada ilustrasi gambar 2.25 dibawah ini.

Addr bit 7	Addr bit 6	Addr bit 5	...	Addr bit 1	Addr bit 0	R/W
------------	------------	------------	-----	------------	------------	-----

**Gambar 2.25 Format *Address* Byte**

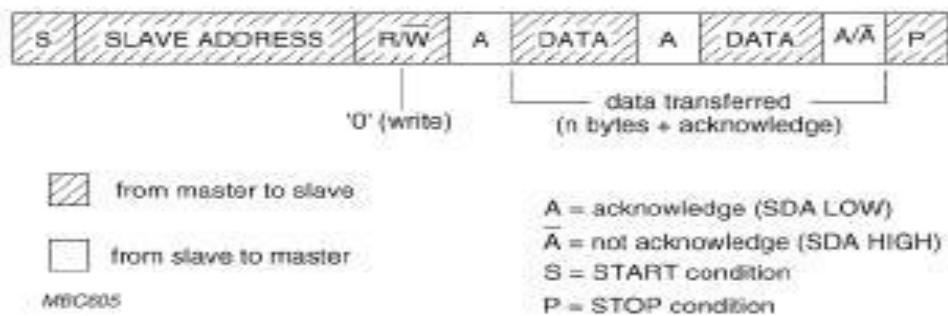
(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)

Ada dua jenis komunikasi dasar dalam I2C yaitu : *Master - transmitter* menulis data ke *slave - receiver* yang teralamat yang dapat dilihat pada gambar 2.27, serta *Master-receiver* membaca data dari *slave-transmitter* yang teralamat yang dapat di lihat pada gambar 2.28. Serta berikut ini gambar 2.26 adalah gambar dimana transfer data lengkap dari I2C.



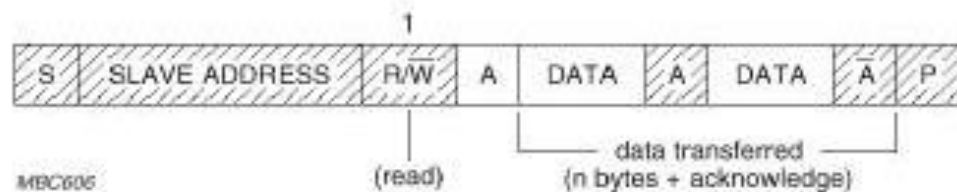
**Gambar 2.26 Transfer Data Lengkap I2C**

(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)



**Gambar 2.27 Master-Transmitter Menulis Data Ke Slave –Receiver Yang Teralamat**

(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)



**Gambar 2.28 Master-Receiver Membaca Data Dari Slave –Transmitter Yang Teralamat**

(Sumber : Philips Semiconductors, 2000)

Address byte terdiri dari bagian yang tetap dan bagian yang dapat diprogram, bagian yang tetap merupakan bawaan dari IC, sedangkan yang dapat





diprogram biasanya berupa pin *address* pada IC yang bersangkutan, sebagai contoh IC PCF8591, memiliki *address* byte sbb : 1 0 0 1 A2 A1 A0 , dimana 1001 adalah bagian yang tetap dan A2,A1,A0 adalah bagian yang dapat diprogram sesuai dengan kondisi logika pada pin IC PCF8591.

1) Sinyal *Acknowledge* (ACK) terjadi :

Dari *Slave* ke *Master Transmitter* :

- Sesudah *address* byte diterima dengan baik oleh *slave*
- Setiap kali *slave* selesai menerima data byte dengan baik

Dari *Master Receiver* ke *Slave* :

- Setiap kali *Master* selesai menerima data byte dengan baik

2) Sinyal *Negative Acknowledge* (NACK) terjadi :

Dari *Slave* ke *Master Transmitter* :

- Setelah *slave* gagal menerima *address* byte dengan baik
- Setiap kali *slave* gagal menerima data byte dengan baik
- *Slave* tidak terhubung pada bus

Dari *Master Receiver* ke *slave* :

- Setelah *Master* menerima data byte yang terakhir dari *slave*

#### **d. Protokol Software pada Bus I2C**

Perintah-perintah khusus untuk protokol I2C yang pertama dilakukan adalah *master* akan mengirim *start sequence*. *Start sequence* akan membuat semua perangkat *slave* bersiap mendengar perintah yang datang dari *master*. Kemudian *master* akan mengirim alamat perangkat yang dituju. *Slave* yang cocok dengan *address* yang dikirim oleh *master* akan melanjutkan ke transmisi berikutnya. *Slave* selain yang alamatnya cocok akan mengabaikan transmisi dari *master* dan menunggu sampai alamatnya cocok. Setelah mendapatkan *slave* yang alamatnya cocok, *master* sekarang harus mengirim lokasi internal dari nomor register pada *slave* yang akan dibaca atau ditulis oleh *master*. Kita dapat mengetahui nomor registernya pada datasheet perangkat/modul. Contohnya CMPS03 mempunyai 16 lokasi (0-15) dan SRF08 mempunyai 36.



Setelah mendapat *slave* yang alamatnya cocok dan alamat internal register yang dituju, maka *master* dapat mulai mengirim data per 8 bit (1 byte). Jika *slave* sudah mengacknowledged (ACK = 0) setelah pengiriman 1 byte data, maka *master* dapat mengirim 1 byte data selanjutnya dan proses akan berulang. Data secara otomatis akan ditempatkan pada internal register selanjutnya (tidak menumpuk data yang sudah terkirim) karena *slave* akan mengincrement alamat register internal setelah menerima 1 byte data. Ketika *master* sudah selesai menulis seluruh data ke *slave*, maka *master* akan mengirim stop *sequence* yang mengakhiri transaksi data.

Jadi untuk menulis ke perangkat *slave*, urutannya adalah:

1. Mengirim *start sequence*
2. Mengirim alamat I2C dari *slave* dengan bit R/W low (alamat genap)
3. Mengirim alamat dari internal register yang ingin ditulisi data
4. Mengirim byte data
5. Jika data belum tertulis semua, setelah *slave* mengirim ACK = 0 maka byte data berikutnya dikirim
6. Mengirim stop *sequence*

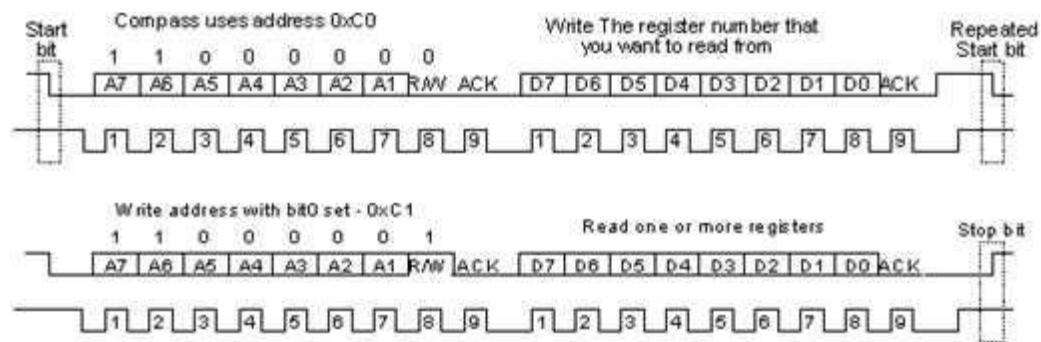
#### e. Membaca dari *Slave*

Untuk membaca dari *slave*, prosesnya sedikit lebih rumit. Sebelum membaca dari perangkat *slave*, kita harus memberitahu alamat register internal mana yang ingin kita baca. Jadi proses pembacaan dari *slave* juga akan diawali dengan menulis ke *slave* dahulu. Jadi awalnya sama saja, kita mengirim *start sequence*, alamat I2C dari *slave* dengan bit R/W low dan alamat internal register yang kita tulisi. Kemudian kita mengirim kembali sebuah *start sequence* (*restart*), kembali mengirim alamat I2C, kali ini dengan bit terakhir = 1 (bit read) dan alamat internal register yang ingin kita baca. Kemudian kita membaca byte data sebanyak yang kita inginkan sampai kita mengakhiri transmisi dengan stop *sequence*. Jadi untuk membaca arah kompas dalam bentuk byte dari modul CMPS03 urutannya adalah:



1. Mengirim *start sequence*
2. Mengirim 0xC0 ( alamat I2C dari CMPS03 dengan bit R/W low atau menulis)
3. Mengirim 0x01 ( alamat register internal dari arah kompas)
4. Mengirim *start sequence* lagi
5. Mengirim 0xC1 ( alamat I2C dari CMPS03 dengan bit R/W high atau baca)
6. Membaca byte data dari CMPS03
7. Mengirim *stop sequence*

Berikut ini gambar 2.29 penulisan dan pembacaan data I2C sensor kompas CMPS03 dengan mikrokontroler.



**Gambar 2.29 Penulisan dan Pembacaan Data I2C**

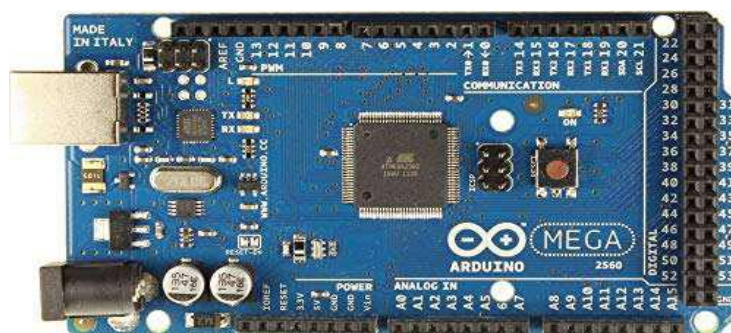
(<http://pima.kandangbuaya.com/2011/04/i2c-inter-ic-bus-twi/>)

#### 2.4. Arduino Mega2560

Arduino adalah *board* berbasis mikrokontroler atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa di program menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca *input*, memproses *input* tersebut dan kemudian menghasilkan *output* sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses *input*, dan *output* sebuah rangkaian elektronik.



Pada gambar 2.30 merupakan jenis Arduino Mega 2560, Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis arduino dengan menggunakan chip Atmega 2560. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (14 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog *input*, 4 pin UART (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator* 16 Mhz, sebuah port USB, *power jack* DC, ICSP *header*, dan tombol *reset*. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Berikut ini gambar 2.30 adalah arduino mega 2560.



**Gambar 2.30 Arduino Mega 2560**

(Sumber : M. Agung, 2019)

Dengan penggunaan yang cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan *power* dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.

#### 2.4.1. Karakteristik Arduino Mega 2560

**Tabel 2.7 Karakteristik Arduino Mega 2560**

Keterangan	Spesifikasi
Chip mikrokontroler	ATmega 2560
Tegangan operasi	5 V
Tegangan <i>input</i> (yang direkomendasikan, via jack DC)	7 V – 12 V
Tegangan <i>input</i> (limit, via jack DC)	6 V – 20 V



Digital I/O pin	54 buah, diantaranya menyediakan PWM
Analog <i>Input</i> pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
<i>Clock speed</i>	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

#### 2.4.2. Catu Daya

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya *eksternal*. Tegangan dari baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin GND dan Vin dari konektor power.

Jika menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7 - 12 Volt. Pin catu daya adalah sebagai berikut :

- a. VIN. Tegangan *input* ke papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal
- b. 5V. Catu daya yang diatur digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lain di *board*. Hal ini dapat datang baik dari VIN melalui regulator *on board*, atau disediakan oleh USB atau suplai 5V yang lain.
- c. 3V3. Sebuah pasokan 3,3 volt yang dihasilkan oleh regulator *on board* menarik arus maksimum adalah 50 mA.
- d. GND. *Ground* pins.



### 2.4.3. Memori

Atmega 2560 memiliki 256 KB dari memori *flash* untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB dari SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

### 2.4.4. Input dan Output

Masing-masing dari 54 pin digital pada Mega dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, dan `digitalRead ()` fungsi. Mereka beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal yang (terputus secara *default*) dari 20 - 50 KOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

- a. Serial 0: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan data serial (TX) TTL. Pin 0 dan 1 juga terhubung ke pin dari ATmega8U2 USB-to-TTL Chip Serial.
- b. Interupsi *Eksternal*: 2 (*interrupt 0*), 3 (*interrupt 1*), 18 (*interrupt 5*), 19 (*interrupt 4*), 20 (*interrupt 3*), dan 21 (*interrupt 2*). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat `attachInterrupt ()` fungsi untuk rincian.
- c. PWM: 0 - 13. Memberikan *output* PWM 8-bit dengan fungsi `analogWrite ()`.
- d. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga pecah pada header ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Uno, *Duemilanove* dan *Diecimila*.
- e. LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin tinggi nilai, LED menyala, ketika pin rendah, itu off.
- f. I2C: 20 (SDA) dan 21 (SCL). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan *Kawat*.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 *input* analog, yang masing - masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara *default* mereka mengukur dari gnd ke 5 volt, meskipun adalah mungkin untuk mengubah



batas atas dari kisaran mereka menggunakan pin AREF dan fungsi *analog Reference ()*.

Ada beberapa pin lainnya di papan:

- a. AREF. tegangan referensi untuk *input* analog. Digunakan dengan *analog Reference ()*.
- b. Reset. Bawa garis LOW ini untuk me-reset mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset untuk perisai yang menghalangi satu di papan tulis.

#### 2.4.5. Komunikasi

Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. Atmega 2560 menyediakan empat UART hardware untuk TTL (5V) komunikasi serial. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana yang akan dikirim ke dan dari papan. The RX dan TX LED di papan akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui ATmega8U2 Chip dan USB koneksi ke komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

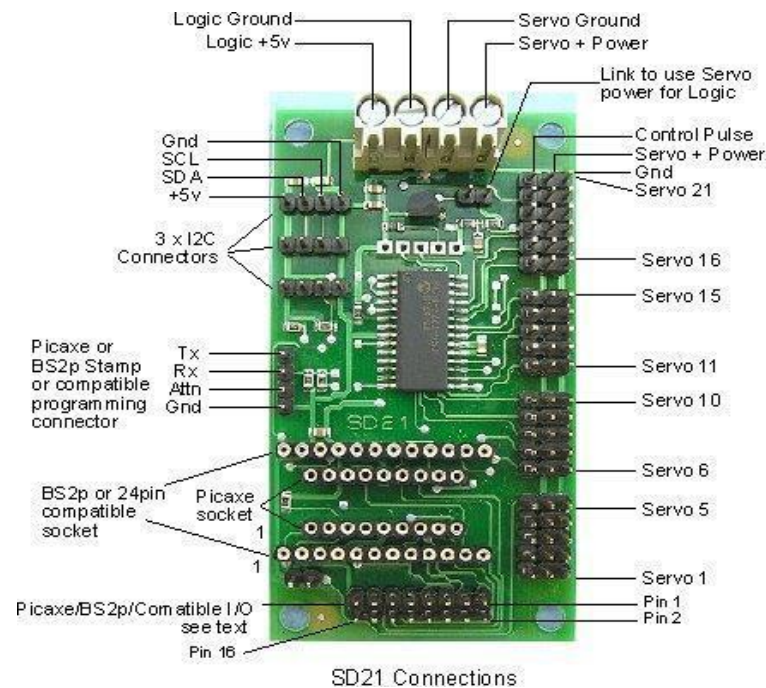
Sebuah perpustakaan *SoftwareSerial* memungkinkan untuk komunikasi *serial* pada setiap pin digital Mega2560 ini. Atmega 2560 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak arduino termasuk perpustakaan untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C; lihat dokumentasi di website Wiring untuk rincian. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

#### 2.5. Servo Controller SD 21

Servo Controller SD21 adalah modul servo Controller yang dapat mengontrol sebanyak 21 motor servo secara bersama – sama. Ini akan mendorong hingga 21 RC servo dan mempertahankan 20 ms *refresh rate*, terlepas dari jumlah servo yang digunakan atau posisi lebar pulsa. SD21 akan mengontrol kedua posisi dan kecepatan servo. SD21 dikendalikan dengan mengirimkan perintah ke PIC18F2520 melalui bus I2C. Ada 3 konektor I2C di papan, salah satu



dari tiga tersebut dapat digunakan untuk terhubung ke *Microcontroller*. Berikut ini gambar 2.31 adalah gambar servo *Controller SD21*.



**Gambar 2.31 Servo Controller SD21**

(Sumber : <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/sd21tech.htm>)

#### a. Power

Ada dua cara untuk memberi daya pada SD21. Yang pertama adalah menggunakan suplai 5v untuk bagian prosesor dan suplai 6v - 7.2v terpisah untuk servo. SD21 memonitor tegangan baterai servo, yang tersedia untuk dibaca dari register internal.

#### b. Servo Prosesor

Jantung dari SD21 adalah chip PIC18F2520 yang telah di program, diakses melalui bus I2C di alamat 0XC2 (\$C2) agar bisa dikontrol oleh pengontrol eksternal salah satu nya adalah arduino. Ada tiga register internal yang di *Control* oleh SD21 untuk masing – masing 21 servo yaitu kecepatan, byte rendah, dan byte tinggi.





### c. Servo Position

SD21 dapat mengatur lebar pulsa (byte rendah / byte tinggi) dari 1000uS hingga 2000 uS, serta SD21 otomatis dapat mengatur posisi servo ke 1500 uS atau posisi tengah. SD21 juga dapat mengatur lebar pulsa motor servo dari 800 uS hingga 2200 uS.

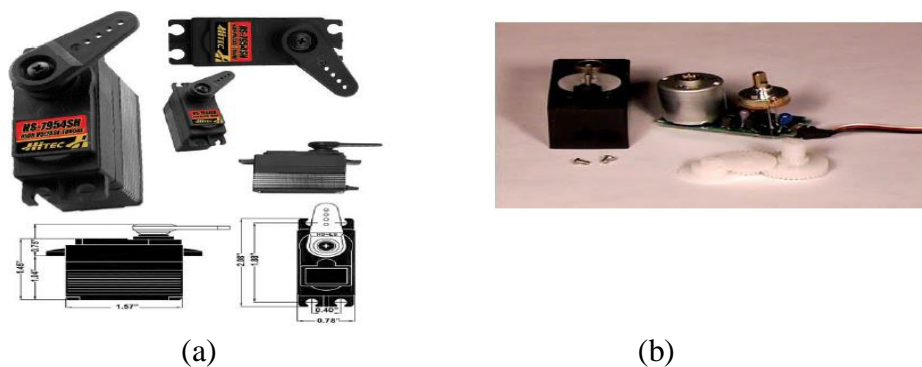
### d. Kecepatan Servo

Register kecepatan SD21 mengontrol kecepatan motor servo bergerak ke posisi baru, pulsa servo secara otomatis di refresh setiap 20 ms.

## 2.6. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC yang dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem *closed feedback* yang terintegrasi dalam motor tersebut. Pada motor servo posisi putaran sumbu (*axis*) dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo.

Pada dasarnya motor servo tersusun dari motor DC, rangkaian kontrol, *gearbox* dan potensiometer. Berikut ini gambar 2.32 adalah motor servo beserta komponen internal motor servo.



**Gambar 2.32 (a) Bentuk Motor Servo**

**(b) Komponen Internal Motor Servo**

(Sumber : <https://docplayer.info/69680243-Bab-ii-tinjauan-pustaka.html>)



Terlihat jelas bahwa motor DC yang digunakan sangat kecil sehingga motor servo memiliki dimensi yang cukup kecil jika dibandingkan dengan motor DC pada umumnya. Rangkaian kontrol pada motor servo digunakan untuk mengontrol motor DC yang ada pada motor servo, dikarenakan untuk mengakses motor servo kita harus memberikan pulsa-pulsa kepada sinyal kontrol tersebut. Gearbox berfungsi untuk meningkatkan torsi dari motor servo, sebenarnya terdapat dua macam bahan penyusun *gearbox* yang digunakan untuk motor servo yaitu *metal gear* (biasanya untuk torsi yang sangat besar) dan *nylon gear* (berwarna putih). Dan potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirimkan.

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (*CW* dan *CCW*) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan dengan memberikan variasi lebar pulsa (*duty cycle*) sinyal *PWM* pada bagian pin kontrolnya. Motor servo memiliki dua tipe yaitu servo standard dan servo *rotation (continuous)*.

### 2.6.1. Jenis – Jenis Motor Servo

#### 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 kontiyu).

### 2.6.2. Motor Servo HS 7954 SH

Hitec HS-7954 merupakan jenis motor servo DC standar yang dapat beroperasi 180° dari sudut -90° sampai dengan 90° derajat, adapun Karakteristik motor servo pada tabel 2.8 berikut ini.

**Tabel 2.8 Karakteristik Motor Servo Hitech HS-7954SH**

Karakteristik	
<b>Jenis</b>	<i>standard</i>
<b>Torsi</b>	6V dengan torsi 24 Kg 7,4V dengan torsi 29Kg
<b>Kecepatan</b>	6 V = 0,15 sec/60° 7,4 V = 0,12 sec/60°
<b>Berat</b>	55,0 g
<b>Dimensi</b>	Lebar = 19,8 mm Tinggi = 42,9 mm Panjang =40,6 mm
<b>Pulsa Kontrol</b>	-90° dengan pulsa 800u sec 0° dengan pulsa 1500u sec +90° dengan pulsa 2200u sec

Berikut ini Gambar 2.33 bentuk fisik dari servo hitec HS-7954SH.

**Gambar 2.33 Bentuk Fisik Servo Hitec HS-7954 SH**

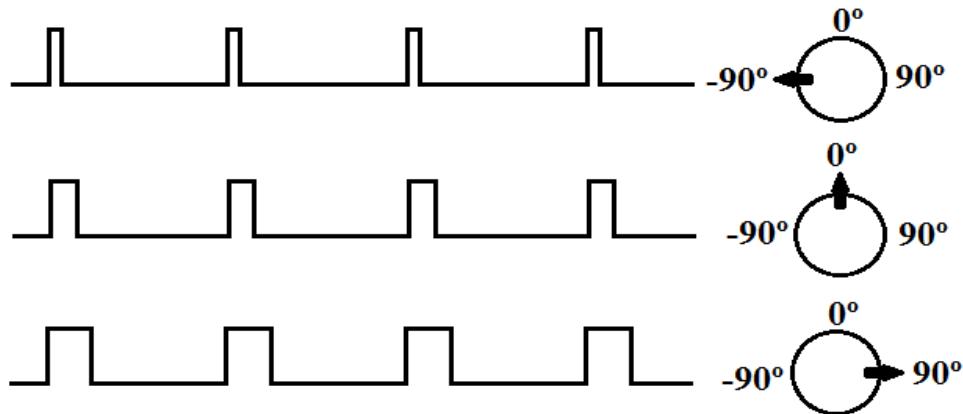
(Sumber : Sudarmanto, Alviana Cahyani, 2007)

### 2.6.3. Prinsip Kerja Motor Servo

Prinsip utama dari pengendalian motor servo adalah pemberian nilai PWM pada kontrolnya. Frekuensi PWM yang digunakan pada pengontrol motor servo selalu 50 Hz sehingga pulsa dihasilkan setiap 20 ms. Lebar pulsa akan menentukan posisi servo yang dikehendaki. Pemberian lebar pulsa 0,8 ms akan



membuat motor servo berputar ke posisi (-90 derajat), lebar pulsa 1,5 ms akan membuat motor servo berputar mendekati posisi 0 derajat, dan dengan lebar pulsa 2,2 ms motor servo akan bergerak ke posisi 90 derajat. Gambar 2.34 berikut memperlihatkan hubungan antara lebar pulsa PWM dengan arah putaran motor servo.



**Gambar 2.34 Hubungan Lebar Pulsa PWM dengan Arah Putaran Motor Servo**

Untuk memerintahkan agar motor servo berputar sesuai sudut yang kita inginkan dari mikrokontroler harus mengirimkan perintah dalam bentuk pulsa yaitu dari 800 us sampai 2200 us. Dan berikut ini rumus untuk memudahkan perhitungan mencari arah putaran / sudut motor servo dalam bentuk lebar pulsa untuk ditulis ke program.

- a. Mengubah lebar pulsa ke dalam bentuk sudut

$$\theta^{\circ} = \frac{P_c - P_n}{P_m - P_n} \times 90^{\circ} \quad (2.7)$$

- b. Mengubah sudut ke dalam bentuk lebar pulsa

$$P_c = \frac{\theta^{\circ}}{90^{\circ}} (P_m - P_n) + P_n \quad (2.8)$$

Ket :

$\theta^{\circ}$  = sudut yang ingin diketahui

$P_c$  = Lebar pulsa yang ingin diketahui

$P_n$  = Lebar Pulsa netral (1500 mS)

$P_m$  = Lebar Pulsa maks (2200 mS)



## 2.7. Relay

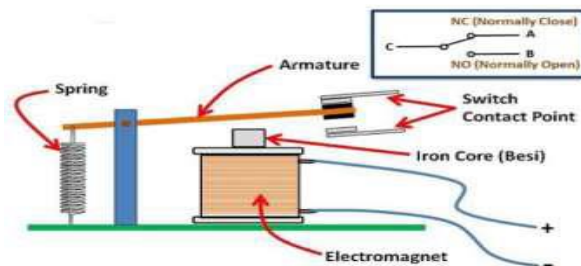
Relay merupakan suatu komponen elektronik yang berfungsi sebagai switch yang kemudian dihubungkan dengan kabel listrik dari peralatan listrik yang akan dikontrol. Relay akan bekerja ketika menerima *input* dari mikrokontroler Arduino.

### 2.7.1. Prinsip Kerja Relay

a. *Normally Close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *close* (tertutup).

b. *Normally Open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *open* (terbuka).

Berikut ini gambar 2.35 adalah prinsip kerja relay.



**Gambar 2.35 Prinsip Kerja Relay**

(Sumber : M.Agung, 2019)

Berdasarkan gambar diatas, sebuah besi (*Iron Core*) yang dililit oleh sebuah kumparan *coil* yang berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik armatur untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana armature tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi *open* atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, armatur akan kembali lagi ke posisi awal (NC). *Coil* yang digunakan oleh relay untuk menarik *contact* poin ke posisi *close* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.



## 2.8. Baterai *Lithium Polimer* (LiPo)

Baterai *Lithium Polimer* atau biasa disebut dengan LiPo merupakan salah satu jenis baterai yang sering digunakan dalam dunia RC. Utamanya untuk RC tipe pesawat dan helikopter.

Ada tiga kelebihan utama yang ditawarkan oleh baterai berjenis LiPo ketimbang baterai jenis lain seperti NiCad atau NiMH yaitu :

- a. Baterai LiPo memiliki bobot yang ringan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran
- b. Baterai LiPo memiliki kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar
- c. Baterai LiPo memiliki tingkat *discharge rate* energi yang tinggi, dimana hal ini sangat berguna sekali dalam bidang RC.

Selain keuntungan yang dimilikinya, baterai jenis ini juga memiliki beberapa kelemahan.

- d. Harga baterai LiPo masih tergolong mahal jika dibandingkan dengan baterai jenis NiCad dan NiMH
- e. Performa yang tinggi dari baterai LiPo harus dibayar dengan umur yang lebih pendek. Usia baterai LiPo sekitar 300 - 400 kali siklus pengisian ulang. Sesuai dengan perlakuan yang diberikan pada baterai.
- f. Alasan keamanan. Baterai LiPo menggunakan bahan elektrolit yang mudah terbakar.
- g. Baterai LiPo membutuhkan penanganan khusus agar dapat bertahan lama. *Charging*, *Discharging*, maupun penyimpanan dapat mempengaruhi usia dari baterai jenis ini.

Berikut ini gambar 2.36 adalah bentuk baterai LiPo yang sering digunakan dalam robotika.



**Gambar 2.36 Baterai Lithium Polimer**

(Sumber : M. Agung, 2019)



Sekarang ini telah banyak didominasi oleh baterai jenis LiPo ketimbang Li-Ion. Kedua baterai ini pada dasarnya dibuat menggunakan bahan kimia yang sama dan membutuhkan perhatian yang sama. Perbedaannya adalah pada pemaketan sel (*cell*) dan tipe elektronik yang digunakan.

### 2.8.1. Tegangan (*Voltage*) Baterai LiPo

Pada baterai jenis NiCad atau NiMH tiap sel memiliki 1,2 volt sedangkan pada baterai Lipo memiliki rating 3,7 volt per sel. Keuntungannya adalah tegangan baterai yang tinggi dapat dicapai dengan menggunakan jumlah sel yang lebih sedikit.

Pada setiap paket baterai LiPo selain tegangan ada label yang disimbolkan dengan “S”. Disini “S” berarti sel yang dimiliki sebuah paket baterai (*battery pack*). Sementara bilangan yang berada didepan simbol menandakan jumlah sel dan biasanya berkisar antar 2 – 6 S (meskipun kadang ada yang mencapai 10 S). Berikut adalah beberapa contoh notasi tegangan baterai LiPo :

- 3.7 volt battery = 1 cell x 3.7 volts
- 7.4 volt battery = 2 cells x 3.7 volts (2S)
- 11.1 volt battery = 3 cells x 3.7 volts (3S)
- 14.8 volt battery = 4 cells x 3.7 volts (4S)
- 18.5 volt battery = 5 cells x 3.7 volts (5S)
- 22.2 volt battery = 6 cells x 3.7 volts (6S)

### 2.8.2. Kapasitas (*Capacity*) Baterai LiPo

Kapasitas baterai menunjukkan seberapa banyak energi yang dapat disimpan oleh sebuah baterai dan diindikasikan dalam miliampere *hours* (mAh). Notasi ini adalah cara lain untuk mengatakan seberapa banyak beban yang dapat diberikan kepada sebuah baterai selama 1 jam, dimana setelah 1 jam baterai akan benar-benar habis.

Sebagai contoh sebuah baterai RC LiPo yang memiliki rating 1000 mAh akan benar - benar habis apabila diberi beban sebesar 1000 miliampere selama 1 jam. Apabila baterai yang sama diberi beban 500 miliampere, maka baterai akan



benar-benar habis setelah selama 2 jam. Begitu pun apabila beban ditingkatkan menjadi 15.000 miliampere (15 Amps) maka energi di dalam baterai akan habis terpakai setelah selama 4 menit saja. (15 Amp merupakan jumlah beban yang umum digunakan pada RC kelas 400). Seperti yang telah dijelaskan, dengan beban arus yang begitu besar maka merupakan sebuah keuntungan apabila menggunakan baterai dengan kapasitas yang lebih besar (misal 2000 mAh). Dengan begitu maka waktu discharge akan meningkat menjadi 8 menit.

### 2.8.3. Discharge Rate Baterai LiPo

*Discharge rate* biasa disimbolkan dengan “C” merupakan notasi yang menyatakan seberapa cepat sebuah baterai untuk dapat dikosongkan (*discharge*) secara aman. Sesuai dengan penjelasan di atas bahwa energi listrik pada baterai LiPo berasal dari pertukaran ion dari anoda ke katoda. Semakin cepat pertukaran ion yang dapat terjadi maka berarti semakin nilai dari “C”. Sebuah baterai dengan discharge rate 10C berarti baterai tersebut dapat di discharge 10 kali dari kapasitas baterai sebenarnya. begitu juga 15C berarti 15 kali, dan 20C berarti 20 kali.

Mari gunakan contoh baterai 1000 mAh di atas sebagai contoh. Jika baterai tersebut memiliki rating 10C maka berarti baterai tersebut dapat menahan beban maksimum hingga 10.000 miliampere atau 10 Ampere. ( $10 \times 1000$  miliampere = 10 Ampere). Angka ini berarti sama dengan 166 mA per menit, maka energi baterai 1000 mAh akan habis dalam 6 menit. Angka ini berasal dihitung dengan mengkalulasi jumlah arus per menitnya.  $1000 \text{ mAh} \div 60 \text{ menit} = 16,6 \text{ mA}$  per menit. Lalu kemudian kalikan 16,6 dengan C rating (dalam hal ini 10) = 166 mA beban per menit. Lalu bagi 1000 dengan 166 = 6,02 menit.