

## BAB II LANDASAN TEORI

Dalam Bab II ini, akan dijelaskan landasan teori pada penelitian pembangunan monitor analisis kesehatan pada jembatan menggunakan sistem *Acceletometer* yang berisi penjelasan mengenai teori – teori, metode pendukung sistem dan aplikasi pendukung sistem.

### 1.1 Jembatan

Menurut Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan, jembatan adalah bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua ujung jalan yang terputus oleh sungai, saluran, lembah dan selat atau laut, jalan raya dan jalan kereta api.

#### 1.1.1 Perawatan Jembatan

Menurut RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, umur rencana jembatan pada umumnya diisyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan bentang panjang, atau yang bersifat khusus diisyaratkan umur rencana 100 tahun.

Secara umum jembatan dapat mengalami dua macam kerusakan yang berbeda, yaitu:

##### a. Kerusakan yang berhubungan dengan bahan

Terdapat bermacam-macam kerusakan yang berhubungan langsung dengan jenis bahan yang digunakan untuk membuat komponen jembatan. Pada tabel 2.1 disajikan jenis kerusakan yang berhubungan dengan bahan yangbisaanya terjadi pada komponen jembatan.

Tabel 2.1 Kerusakan yang berhubungan dengan bahan

NO	Bahan	Kerusakan
1	Beton	1. Cacat pada beton termasuk terkelupas, sarang lebah 2. Berongga, berpori dan kualitas beton yang kurang bagus 3. Keretakan 4. Korosi pada tulangan baja 5. Kotor, berlumut, penuaan atau pelapukan beton 6. Pecah atau hilangnya bahan 7. Lendutan
2	Baja	1. Penurunan mutu cat 2. Korosi 3. Perubahan bentuk

NO	Bahan	Kerusakan
		4. Keretakan 5. Pecah atau hilangnya bahan 6. Elemen yang tidak benar 7. Kabel yang terurai 8. Lepasnya ikatan atau sambungan
3	Kayu	1. Cacat akibat lapuk, serangan serangga, sobek dan kerusakan mata kayu 2. Pecah atau hilangnya elemen 3. Penyusutan 4. Penurunan mutu pelapis permukaan 5. Lepasnya elemen

(Sumber: Manual Pemeliharaan Jembatan Pelengkung Baja)

### **b. Kerusakan yang berhubungan dengan elemen**

Kerusakan jembatan yang berhubungan dengan elemen tidak secara langsung berhubungan dengan jenis bahan jembatan tersebut tetapi berpengaruh terhadap fungsi jembatan. Pada tabel 2.2 disajikan jenis kerusakan yang berhubungan dengan elemen jembatan.

Tabel 2.2 Kerusakan yang berhubungan dengan elemen

NO	Elemen	Kerusakan
1	Aliran sungai	1. Endapan lumpur yang berlebihan 2. Sampah yang menumpuk dan terjadinya hambatan aliran sungai 3. Pengikisan yang terjadi pada daerah dekat pilar atau abutme
2	Tanah bertulang	Penggembungan permukaan Retak, rontok atau pecah dari komponen tanah bertulang
3	Abutmen dan pilar	Abutmen atau pilar bergerak
4	Landasan penahan gempa	Elemen longgar atau hilang
5	Laandakan atau perletakan	1. Tidak cukupnya tempat untuk bergerak 2. Kedudukan landasan yang tidak sempurna 3. Mortar dasar retak atau rontok 4. Perpindahan dan Perubahan yang berlebihan 5. Pecah atau retak 6. Bagian yang rusak atau hilang 7. Kurangnya pelumasan pada landasan logam
6	Pelat dan lantai	1. Kesalahan pada sambungan 2. Lendutan yang berlebihan
7	Drainase	1. Pipa drainase yang tersumbat

NO	Elemen	Kerusakan
		2. Elemen hilang atau tidak ada
8	Lapis permukaan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permukaan licin, kasar atau berlubang</li> <li>2. Retak pada lapis permukaan</li> <li>3. Lapisan permukaan yang bergelombang</li> <li>4. Lapisan perkerasan yang berlebihan</li> </ol>
9	Trotoar	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permukaan trotoar yang licin</li> <li>2. Lubang pada trotoar</li> <li>3. Terdapat bagian yang hilang</li> </ol>
10	Sambungan lantai	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kerusakan pada sambungan lantai yang tidak sama tinggi</li> <li>2. Kerusakan akibat terisinya sambungan</li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bagian yang longgar atau terlepas</li> <li>2. Adanya bagian yang hilang</li> <li>3. Retak pada aspal karena perkerasan di sambungan lantai</li> </ol>
11	Rambu-rambu lalu lintas dan marka jalan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kerusakan atau hilangnya batas-batas ukuran</li> <li>2. Tulisan tidak jelas</li> <li>3. Adanya bagian yang hilang</li> </ol>
12	Lampu, tiang lampu dan kabel listrik	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rusaknya bahan atau penurunan mutu</li> <li>2. Adanya bagian yang hilang</li> </ol>

(Sumber: Manual Pemeliharaan Jembatan Pelengkung Baja)

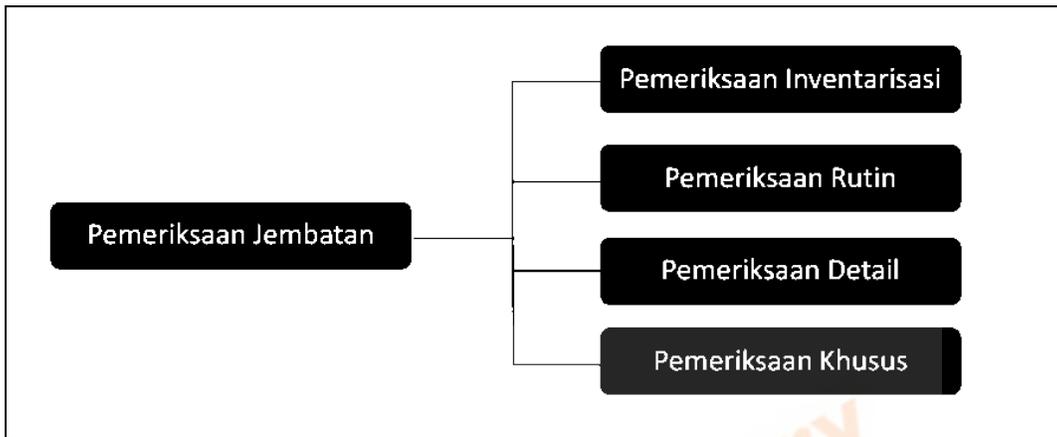
### 1.1.2 Pemeriksaan Jembatan

Pemeriksaan jembatan merupakan kegiatan pokok yang harus dilakukan menghubungkan antara keadaan jembatan yang ada dengan rencana pemeliharaan. Pemeriksaan jembatan digunakan sebagai dasar perencanaan pemeliharaan secara berkala dan pertimbangan apakah jembatan perlu dilakukan perbaikan.

Pemeriksaan dilakukan dari awal sejak jembatan tersebut dibuka untuk umum dan berlangsung selama umur rencana jembatan yang telah ditetapkan. Adapun tujuan dari pemeriksaan jembatan adalah:

- a. Mendata kondisi jembatan sebelum jembatan beroperasi.
- b. Memeriksa keamanan jembatan saat jembatan masih berfungsi.
- c. Mencegah terjadinya penutupan lalu lintas pada jembatan.
- d. Mendata kondisi jembatan pada saat itu.
- e. Menyiapkan bahan untuk proses pemeliharaan.

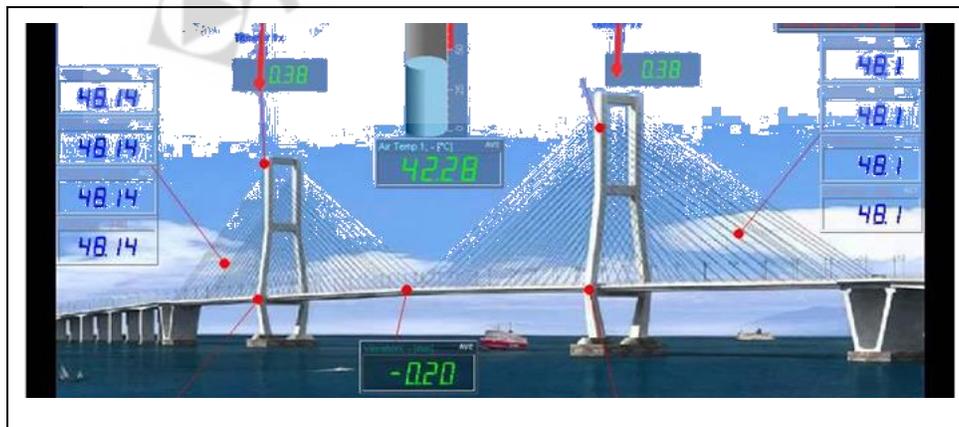
- f. Memeriksa pengaruh beban kendaraan dan jumlah kendaraan yang melintasi jembatan
- g. Memantau keadaan jembatan dalam jangka waktu yang lama.
- h. Menyediakan informasi untuk rating pembebanan jembatan jenis pemeriksaan jembatan yang utama adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Pemeriksaan jembatan

## 1.2 Structural Health Monitoring System (SHMS)

*Structural Health Monitoring System* (SHMS) adalah sebuah sistem monitoring kesehatan struktur bangunan berbasis teknologi yang terdiri dari berbagai jenis sensor yang dapat memberikan data-data nyata dari elemen-elemen bangunan.



Gambar 2.3 Structural Health Monitoring System pada jembatan

(Sumber : <http://www.testindo.com/article/279/structural-health-monitoring-system> di akses 23/02/2020)

Sistem ini dilakukan untuk mendeteksi perubahan yang mengindikasikan adanya penurunan kemampuan atau bahkan kerusakan pada suatu struktur bangunan. Seperti pada

Gambar 2.3, dimana SHMS diterapkan pada jembatan dengan memasang sensor accelerometer, sensor *Strain*, sensor suhu, sensor kecepatan angin dan beberapa jenis sensor lainnya. Hal itu bertujuan untuk melakukan proses monitoring pada jembatan tersebut (Nababan , 2016). Secara umum tujuan dilakukannya *Structural Health Monitoring System* sendiri adalah:

1. Menyediakan data respon dinamis dari struktur jembatan untuk verifikasi asumsi-asumsi disain yang digunakan untuk angin, gempa dan sebagainya.
2. Membuat sistem monitoring kesehatan jembatan yang handal sehingga memiliki fungsi pengecekan sendiri.
3. Menyediakan data untuk analisa dan evaluasi kesehatan struktur jembatan.
4. Menyediakan data untuk memperkirakan kerusakan struktur dan penurunan performa jembatan untuk menentukan jadwal inspeksi dan pemeliharaan periodik.
5. Menyediakan data guna merubah tingkat keamanan lalu lintas yang disebabkan gempa dan badai.

Secara umum sistem ini memanfaatkan sensor-sensor yang berfungsi untuk mendapatkan data dari suatu objek yang diteliti. Data-data tersebut kemudian dikirim menuju suatu pusat data dengan menggunakan sistem jaringan sensor nirkabel. Data yang telah dikirim menuju pusat data tersebut kemudian terhubung melalui suatu jaringan dengan pusat monitoring. Seperti sensor accelerometer untuk mendeteksi perubahan getaran pada jembatan, sensor *Strain* untuk mendeteksi penurunan objek dan berbagai macam sensor lainnya.

### **1.3 Getaran**

Getaran adalah suatu gerakan bolak balik yang mencapai nilai tertinggi dan terendah pada amplitudo atau simpangan terjauh dari titik setimbang (Priatna, 2016). Getaran pada dasarnya memiliki 3 ukuran yang dijadikan sebagai acuan dari pengukuran suatu getaran. Ketiga acuan tersebut adalah sebagai berikut:

#### **1. Amplitudo**

Amplitudo adalah nilai tertinggi atau simpangan terjauh dari titik referensi atau titik setimbang. Amplitudo juga menggambarkan besarnya sebuah getaran atau gelombang.

##### **a. Perpindahan**

Pengukuran perpindahan adalah pengukuran jarak perpindahan benda dari posisi awal saat terjadi getaran.

b. Kecepatan

Kecepatan adalah laju perubahan jarak per satuan waktu.

c. Percepatan

Percepatan adalah laju perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu. Dalam unit SI satuan percepatan adalah meter per sekon<sup>2</sup>(m/s<sup>2</sup>) atau 1 g (gravity) = 9,8 m/s<sup>2</sup>. Parameter percepatan getaran diukur menggunakan *transduser accelerometer*.

2. Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya sebuah getaran atau satuan panjang gelombang dalam satu satuan sekon. Satuan frekuensi dinyatakan dalam satu per sekon(1/s) atau dinyatakan dalam satuan hertz (Hz).

3. Fase Vibrasi

Fase vibrasi adalah perubahan atau perpindahan posisi bagian pada yang bergetar untuk menentukan titik referensi atau titik setimbang.

#### 1.4 Defleksi atau Lendutan

Defleksi merupakan peristiwa melengkungnya suatu batang yang ditumpu akibat adanya beban yang bekerja pada batang tersebut. Beban yang dimaksud di sini dapat berupa beban dari luar ataupun beban dari dalam karena pengaruh berat batang sendiri. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil.

2. Besarnya kecil gaya

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil.

3. Jenis tumpuan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin

banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

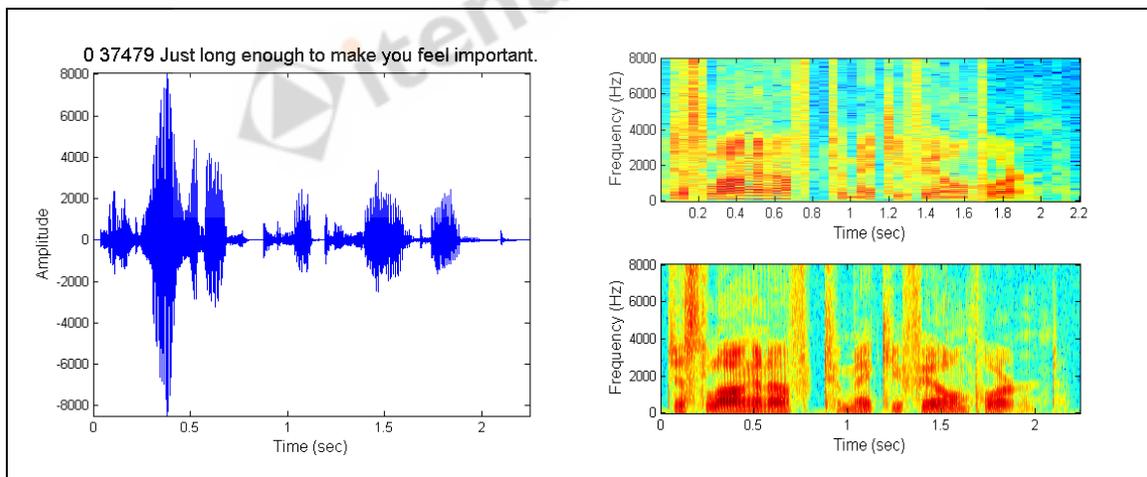
#### 4. Jenis beban

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.

### 1.5 Fast Fourier Transform (FFT)

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah bentuk dari salah satu metode analisa yang digunakan dalam analisis suatu sinyal yang berfungsi merubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Suatu sinyal didefinisikan sebagai besaran fisik yang berubah-ubah menurut waktu, ruang, atau variabel-variabel lainnya.

Sinyal dapat dianalisis dari dua perbedaan sudut pandang, yaitu domain frekuensi dan domain waktu. Sinyal dapat direpresentasikan dalam kedua domain, baik domain waktu maupun domain frekuensi.



Gambar 2.4 a). Sinyal dalam domain waktu, b) Sinyal dalam domain frekuensi

FFT dibagi menjadi dua yaitu *decimation in time* (DIT) dan metode *Decimation in Frequency* (DIF), namun keduanya memiliki fungsi yang sama yaitu untuk mentransformasi sinyal menjadi frekuensi. *Decimation* adalah proses pembagian sinyal menjadi beberapa bagian yang lebih kecil yang bertujuan untuk memperoleh waktu proses yang lebih cepat

### 1.5.1 Domain Frekuensi

Analisis frekuensi domain dilakukan dengan mengubah sinyal gelombang domain waktu ke dalam domain frekuensi. Domain frekuensi adalah jumlah gelombang yang dalam satu detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya adalah detik (*second*) akan menjadi *Hertz* (1-per second) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Proses konversi ini menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT).

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi f t} dt$$

ket:

- a.  $X(f)$  adalah sinyal dalam domain frekuensi.
- b.  $x(t)$  merupakan fungsi sinyal dalam domain waktu.
- c.  $e^{-j2\pi f t}$  merupakan fungsi kernel.

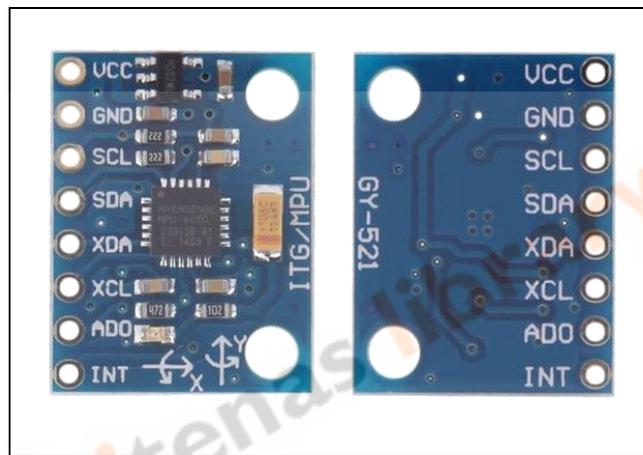
### 1.5.2 FFT Decimation In Time

FFT Decimation in time adalah proses pembagian sinyal menjadi beberapa bagian yang lebih kecil yang bertujuan untuk memperoleh waktu proses yang lebih cepat. Adapun langkah – langkah dari algoritma FFT DIT sebagai berikut :

- a. Sinyal input diblok sebanyak  $N$  sampel, dimulai dari Nol sampai jumlah sampel mendekati pangkat  $2N$ . Misal, sinyal akan disampel sebanyak 500 sampel , maka sinyal tersebut akan di blok menjadi 512 .
- b. Tentukan nilai  $N$ , yaitu pangkat dari 2 jumlah sampel yang akan diambil, sebagai *input* sejumlah  $N$ -point DFT. Kumpulkan semua sampel dalam *buffer* sebesar  $N$ .
- c. Rangkaian sinyal *input* di bit *reverser* dan bagian imajiner dibuat nol.  
Contoh :  $3 = 011$  menjadi  $110 = 6$ .
- d. Hitung  $(N/2)$  dua sampel DFT dari shuffled inputs
- e. Hitung  $(N/4)$  empat sampel DFT dari dua sampel DFT
- f. Hitung  $(N/2)$  delapan sampel DFT dari empat sampel DFT
- g. Dengan melakukan langkah-langkah diatas, maka spektrum frekuensi  $x(k)$  dapat diperoleh.

## 1.6 Sensor Accelerometer

Sensor *accelerometer* adalah sensor percepatan 3 sumbu berbasis kapasitor mikro. Fitur utama dari sensor ini adalah dapat dihubungkan dengan mudah ke sebuah mikrokontroler secara analog. Nilai percepatan disetiap sumbu diberikan sebagai sebuah tegangan analog. Modul ini beroperasi pada tegangan VCC 3.3V atau 5V sehingga dapat dengan mudah dihubungkan ke berbagai jenis mikrokontroler. Semua pin pada sensor *accelerometer* tersedia pada pin *header*. Pada modul ini terdapat regulator tegangan 3.3V dan indikator LED untuk kemudahan dalam pengoperasiannya. Gambar 2.4 merupakan sensor accelerometer 7361 ( Imanningtyas, Akbar, & Syauqy, 2017)



Gambar 2.5 Sensor Accelerometer GY-521

(Sumber : ( Imanningtyas, Akbar, & Syauqy, 2017))

Tabel 2.3 Spesifikasi Accelerometer GY-521

1	Tegangan	3.3-5V DC
2	Jalur komunikasi	I2C up to 400kHz
3	Range Acceleration	2, 4, 6, 8, 16g

## 1.7 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah merupakan modul yang berisi *transmitter* dan *receiver* ultrasonik, modul dapat digunakan untuk mengukur jarak. Modul ini mengukur jarak dengan cara menghitung selisih waktu antara saat pemancaran sinyal dan saat penerimaan sinyal pantul. Gelombang ultrasonik dengan frekuensi sebesar 20 kHz akan dipancarkan selama 200 $\mu$ S. Gelombang ini akan merambat di udara dengan kecepatan 344,424 m/detik

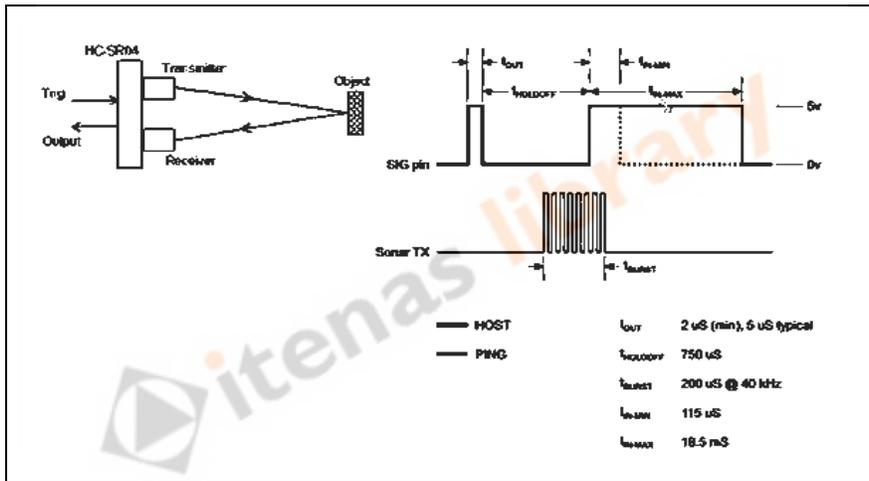
(atau 1 centimeter setiap 29,034 $\mu$ s), mengenai objek untuk kemudian terpantul kembali ke sensor. Selama menunggu pantulan, sensor akan menghasilkan sebuah pulsa. Pulsa ini akan berhenti (low) ketika gelombang pantulan terdeteksi oleh sensor. Selanjutnya mikrokontroler cukup mengukur lebar pulsa tersebut dan mengkonversinya dalam bentuk jarak dengan perhitungan sebagai berikut :

$$S = \frac{v*t}{2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : s = jarak (m)

t = waktu tempuh (s)

v = kecepatan suara 344,424 m/detik (atau 1 centimeter setiap 29,034 $\mu$ s)



Gambar 2.6 Prinsip kerja sensor

(Sumber : ( Putra & Aprianto, 2016))