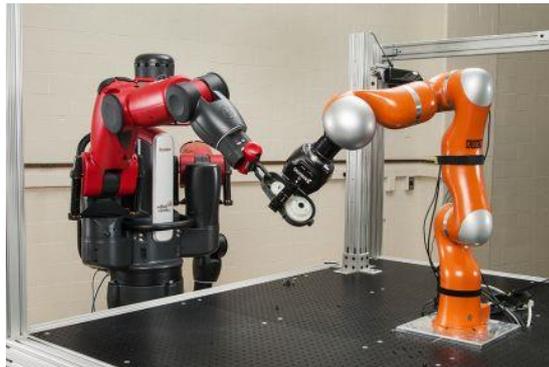


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Collaborative Multi-Arm Robot*

Collaborative multi-arm robot merupakan suatu sistem yang menggunakan dua atau lebih *arm robot manipulator* untuk bekerja sama baik secara paralel atau serial [1]. *Arm robot manipulator* terdiri dari beberapa *links*, *joint* dan *end-effector* yang pada sistem kolaboratif *end effector* yang digunakan dapat berbeda-beda setiap *arm robot* tergantung kebutuhan pada industri. Prinsip kerja *collaborative multi-arm robot* pada dasarnya sama dengan *arm robot manipulator* yaitu menggerakkan motor servo untuk melakukan gerakan pada *arm robot*, tetapi *input* yang digunakan pada salah satu *arm robot* merupakan *output* dari *arm robot* lainnya sehingga kedua *arm robot* bekerja sama dan saling berkaitan.

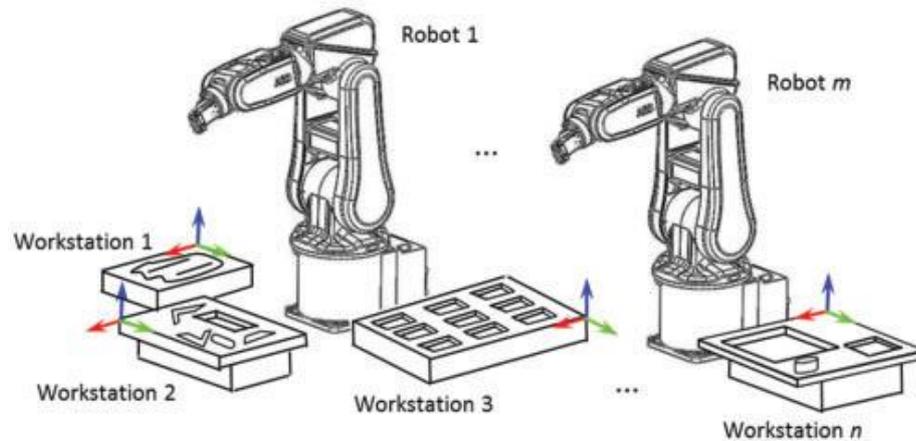


Gambar 2. 1 *Collaborative Multi-Arm Robot*

(sumber : <https://www.nist.gov/programs-projects/performance-collaborative-robot-systems>)

Penggunaan *collaborative multi-arm robot* memiliki beberapa keuntungan, yaitu lebih efisien dibandingkan penggunaan *single-arm robot* dengan melakukan beberapa gerakan secara bersamaan [2]. *Collaborative multi-arm robot* dapat menyelesaikan lebih banyak tugas seperti mengangkat objek yang berat dengan membagi beban pada setiap *arm robot* agar dapat bekerja lebih responsif dan cepat. Selain itu, *collaborative multi-arm robot* juga dapat memperluas *workspace* atau daerah kerja dengan cara bekerja secara serial dengan cara melewatkan objek dari

satu *arm robot* menuju *arm robot* lainnya [1][2] seperti yang terlihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Pembagian *Workspace Multi-Arm Robot*

(Sumber : Ziafan Zhang dan Xinyu Fang, 2016)

2.2 Konsep Dasar *Arm Robot Manipulator*

Arm robot manipulator merupakan robot industri (*industrial robot*) yang paling banyak digunakan untuk mempermudah proses produksi [3] dengan sistem *pick and place* yang berfungsi untuk memindahkan barang dari suatu tempat ke tempat lainnya atau dapat menggunakan sistem lainnya sesuai dengan kebutuhan seperti sistem *continuous* pada *painting arm robot*.

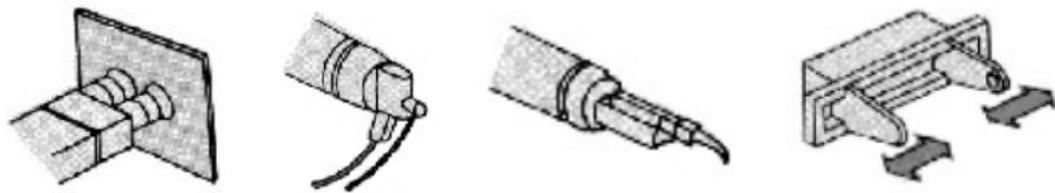
Manipulator adalah bagian utama dari *arm robot* yang terdiri dari *links* yaitu bagian-bagian kerangka yang kaku dihubungkan secara bersamaan sehingga membentuk suatu rangkaian kinematik dan *joint* yaitu koneksi antar *link* yang dapat menentukan pergerakan [4] seperti yang terlihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Struktur *Arm Robot Manipulator*

(Sumber : ED Corporation, 5-Axis Arm Robot Trainer)

End-effector merupakan struktur *arm robot* yang terhubung pada *joint* terakhir yang berfungsi untuk memanipulasi objek dan berinteraksi dengan mesin lainnya untuk melakukan tugas tertentu [3]. Penggunaan *end-effector* dapat disesuaikan kebutuhan, seperti *simple gripper* dan *vacuum-lift* yang digunakan untuk *arm robot* dalam fungsi *pick and place* atau *painting* dan *welding end-effector* yang dapat digunakan dalam fungsi *continuous* [4].



Gambar 2. 4 Macam-Macam *End-Effector*

(Sumber : ED Corporation, 5-Axis Arm Robot Trainer)

Pada *arm robot* juga terdapat *Degree Of Freedom* yaitu sambungan pada lengan, dapat dibengkokkan, diputar, maupun digeser. *Degree Of Freedom* digunakan untuk mengetahui cara robot bergerak, tingkat kerumitan algoritma kendali dan jumlah motor lengan robot yang digunakan [5]. Penentuan jumlah *Degree Of Freedom* dilakukan berdasarkan jumlah gerakan yang dapat dilakukan oleh lengan robot atau jumlah aktuator lengan robot.

2.3 Input Collaborative Multi-Arm Robot

Collaborative multi-arm robot memiliki beberapa sensor sebagai *input* atau masukannya, yaitu sensor kamera sebagai pengolah citra digital, sensor ultrasonik dan sensor berat.

2.3.1 Webcam

Webcam adalah sebuah periferal berupa kamera sebagai pengambil citra atau gambar dan mikrofon (optional) sebagai pengambil suara atau audio yang dikendalikan oleh sebuah komputer atau oleh jaringan komputer. Gambar yang diambil oleh *webcam* ditampilkan ke layar monitor dan memiliki *interface* atau *port*

yang digunakan untuk menghubungkan *webcam* dengan komputer atau jaringan [6].



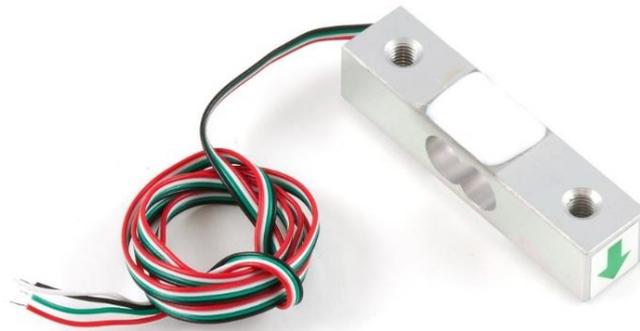
Gambar 2. 5 Webcam

(Sumber: <https://assets.logitech.com/assets/55372/webcam-c270-gallery.png>)

Proses penangkapan gambar pada Webcam sama seperti proses penangkapan gambar kamera digital biasa, yaitu dilakukan oleh dua jenis sensor cahaya yang memiliki cara kerja yang berbeda seperti Charge Couple Device (CCD) dan Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)[6].

2.3.2 Load Cell

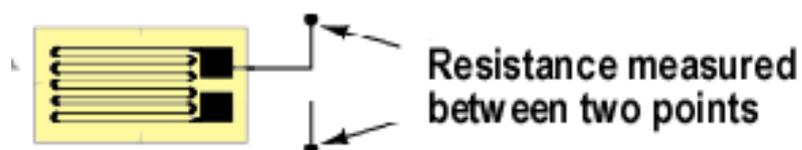
Load cell adalah sebuah logam padat (elemen pegas) yang biasanya terbuat dari aluminium, baja atau stainless steel sehingga sangat kokoh tetapi juga sedikit elastis [7]. Terdapat beberapa jenis *load cell* yaitu *pneumatic load cell*, *hydraulic load cell* dan *strain gauge load cell*. Pada *strain gauge load cell* terdapat kumpulan *strain gauge* yang diletakkan pada bagian pegas dari *load cell* untuk mengubah gaya yang diberikan oleh beban menjadi sinyal listrik [8] [9].



Gambar 2. 6 *Load Cell*

(Sumber : https://testingindonesia.com/images/testing/load_cell3.jpg)

Pada **Gambar 2.6** terlihat *load cell* memiliki beberapa kabel terdiri dari kabel berwarna merah, hitam, hijau, dan putih. Kabel merah merupakan input tegangan sensor, kabel hitam merupakan input ground pada sensor, kabel warna hijau merupakan output positif dari sensor dan kabel putih adalah output ground dari sensor [8]. Nilai tegangan output dari sensor ini sekitar 1,2 mV. *Strain gauge* adalah sebuah alat yang terdiri dari kawat yang sangat halus atau foil yang diatur dalam pola zigzag pada permukaan sebuah membran sehingga dapat mendeteksi perubahan resistansi ketika diberikan sebuah gaya [10].



Gambar 2. 7 *Sensor Strain Gauge*

(Sumber : http://web.deu.edu.tr/mechatronics/old/TUR/strain_gauge.htm)

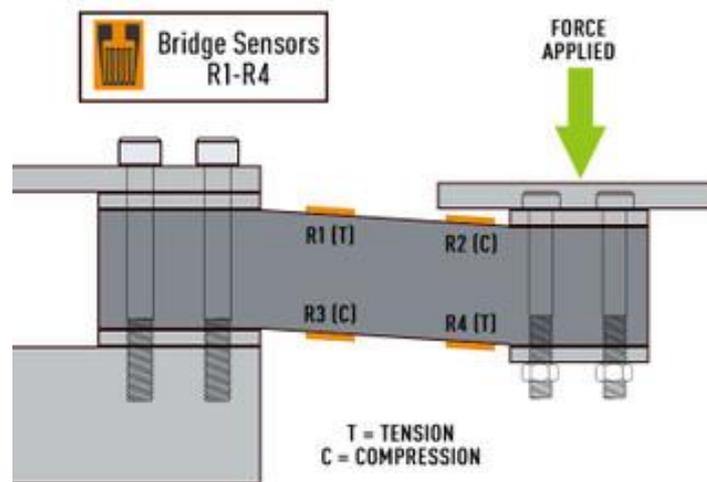
Sensor berat atau *load cell* memiliki karakteristik meliputi bagian mekanik dan bagian elektrik sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Spesifikasi *Load Cell*

Mekanik	
Bahan Dasar	<i>Aluminium Alloy</i>
<i>Load Cell Type</i>	<i>Strain Gauge</i>
Kapasitas	2kg
Dimensi	55.25x12.7x12.7mm
Lubang Pemasangan	M5 (Ukuran Baut)
Panjang Kabel	550mm
Ukuran Kabel	30 AWG (0.2mm)
No. Urutan Kabel	4
Elektrik	
Presisi	0.05%
Rata-rata <i>output</i>	1.0±0.15mv/V
Non-linieritas	0.05% FS
<i>Hysteresis</i>	0.05% FS
Non-Pengulangan	0.05% FS
<i>Creep</i> (per 30 detik)	0.1% FS
Efek Temperatur Pada Nol (per 10°C)	0.05% FS
Efek Temperatur Pada Span (per 10°C)	0.05% FS
Keseimbangan Nol	±1.5% FS
<i>Input Impedansi</i>	1130±10 Ohm
<i>Output Impedansi</i>	1000±10 Ohm
Hambatan Isolasi	≥5000 Mohm
Kebutuhan Voltase	5 VDC
Toleransi Jarak Temperatur	-10 to ~ +40°C
Pengoperasian Jarak Temperatur	-20 to ~ +55°C
<i>Safe Overload</i>	120%
<i>Ultimate Overload</i>	150%

2.3.2.1 Prinsip Kerja *Load Cell*

Prinsip kerja *load cell* adalah menghitung perubahan resistansi yang terjadi akibat timbulnya sebuah regangan pada foil metal *strain gauge*. Perubahan resistansi diakibatkan oleh pemberian sebuah beban pada *load cell* sehingga mengalami perubahan tekanan sesuai dengan yang dihasilkan oleh *strain gauge* [9].



Gambar 2. 8 Mekanisme Kerja *Load Cell*

(Sumber : <https://www.quora.com/What-is-a-strain-gauge-load-cell>)

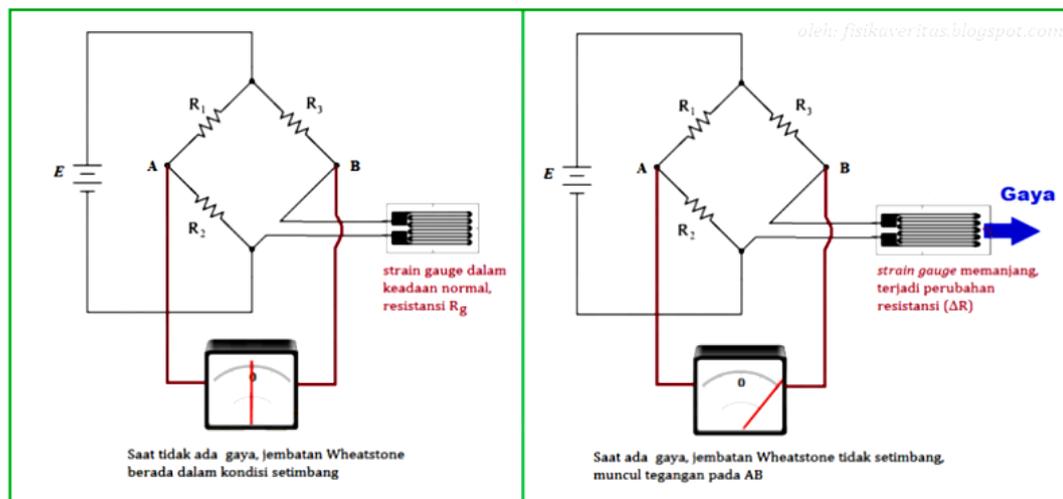
Pada keadaan setimbang atau belum terdapat beban yang diberikan pada *load cell*, maka nilai resistansi setiap *strain gauge* sama. Pada saat *load cell* diberikan beban, maka bagian yang sedikit elastis (pegas) dari *load cell* akan terjadi deformasi atau perubahan bentuk pada tubuh *load cell* seperti yang terlihat pada gambar 2.10. Perubahan bentuk pada tubuh *load cell* mengakibatkan *strain gauge* juga ikut terdeformasi sesuai dengan perubahan pada tubuh *load cell* yaitu dua *strain gauge* akan memanjang (*tension*) dan dua *strain gauge* lainnya akan memendek (*compression*). Semakin panjang *strain gauge* maka resistansinya akan semakin besar, sebaliknya pada *strain gauge* yang lebih pendek memiliki nilai resistansi yang lebih kecil [10].

Perubahan resistansi akibat memanjang (*tension*) atau memendek (*compression*) *strain gauge* dapat diukur sebagai perubahan tegangan menggunakan rangkaian jembatan *wheatstone*. Karena perubahan tegangan yang terjadi sebanding dengan jumlah beban yang diberikan, maka berat benda dapat ditentukan dari perubahan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian jembatan *wheatstone* tersebut.

2.3.2.2 Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Prinsip kerja *strain gauge* yang terdapat pada *load cell* adalah menggunakan rangkaian jembatan *wheatstone* untuk mendeteksi beda potensial atau tegangan

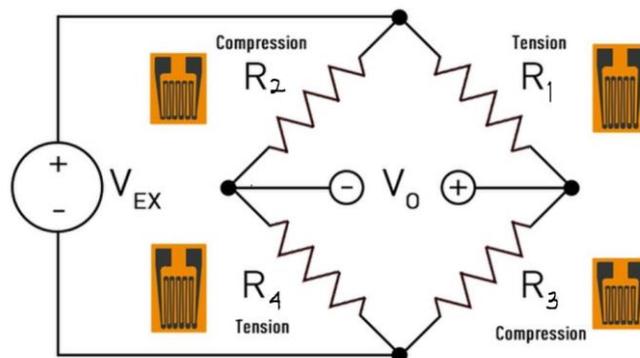
keluaran yang muncul akibat perubahan resistansi *strain gauge* seperti yang terlihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2. 9 Prinsip Kerja Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

(Sumber : <https://fisikaveritas.blogspot.com/2014/01/aplikasi-jembatan-wheatstone-pada.html>)

Pada saat tidak ada beban (keadaan setimbang) maka tegangan *output* sama dengan nol. Ketika gaya diberikan pada *strain gauge*, maka resistansi *strain gauge* akan berubah sehingga terdapat beda potensial atau tegangan pada rangkaian jembatan *wheatstone* tersebut. Pada *load cell* terdapat empat *strain gauge* atau *full-bridge strain gauge* seperti yang terlihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2. 10 Rangkaian Full-Bridge *Strain Gauge*

(Sumber : <https://www.800loadcel.com/load-cell-and-strain-gauge-basics.html>)

R2 merupakan resistansi atau hambatan dari *strain gauge* yang diberikan beban sehingga akan memendek (*compression*) bersamaan dengan *strain gauge* R3 ketika terdapat beban.

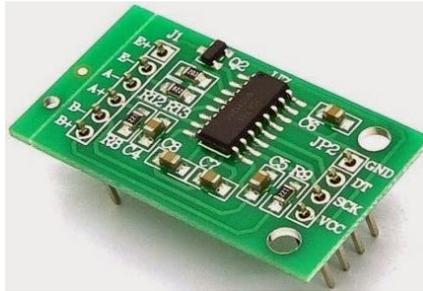
Pada saat *load cell* belum diberikan beban, maka resistansi setiap *strain gauge* (R1, R2, R3 dan R4) bernilai sama sehingga tegangan keluaran (V_o) pada *load cell* adalah nol [10]. Jika *load cell* diberi beban, maka nilai resistansi pada setiap *strain gauge* akan berubah dikarenakan *strain gauge* R2 dan R3 terdeformasi memendek (*compression*) dan *strain gauge* R1 dan R4 memanjang (*tension*) dari keadaan semula sehingga *load cell* tidak dalam kondisi yang seimbang dan tegangan keluaran (V_o) dapat dihitung [11]. Untuk menghitung tegangan keluaran dari rangkaian jembatan *wheatstone* dari *load cell* seperti pada **Gambar 2.10**, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$V_o = \left[\frac{R_3}{(R_3+R_1)} - \frac{R_4}{(R_2+R_4)} \right] V_{EX} \quad (2.1)$$

Pada *load cell* output data (+) dipengaruhi oleh perubahan resistansi pada R2, sedangkan output (-) dipengaruhi oleh perubahan resistansi R1. Hasil berat benda yang ditimbang didapat dari tegangan keluaran (V_o) yang telah dihitung.

2.3.2.3 ADC Modul HX711

Modul HX711 adalah modul penguat tegangan pada timbangan yang memiliki prinsip kerja mengkonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada [12]. HX711 adalah sebuah komponen modul presisi 24-bit *analog to digital converter* (ADC). Tegangan keluaran dari *load cell* sangat kecil yaitu bernilai milivolt sehingga akan sulit terbaca oleh kontroler, maka dibutuhkan penguat tegangan berupa *Programmable Gain Amplifier* (PGA) yang terdapat pada *Analog to Digital Converter* (ADC) seperti yang terlihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2. 11 ADC Modul HX711

(Sumber: Spinger Nature, *Recent Advance in Computational Intelligence*)

Modul HX711 melakukan komunikasi dengan mikrokontroler melalui TTL232. Struktur yang sederhana, mudah dalam penggunaan, hasil yang stabil dan *reliable*, memiliki sensitivitas tinggi, dan mampu mengukur perubahan dengan cepat [11]. Spesifikasi dari *ADC HX711* adalah sebagai berikut :

- *Differential input voltage*: $\pm 40\text{mV}$ (Full-scale *differential input voltage* $\pm 40\text{mV}$) hasil dari penguatan pada PGA.
- *Data accuracy*: 24 bit (24 bit A / D converter chip.)
- *Refresh frequency*: 80 Hz
- *Operating Voltage* : 5V
- *DC Operating current* : <10 mA
- Ukuran : 38mmx21mmx10mm

2.3.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04

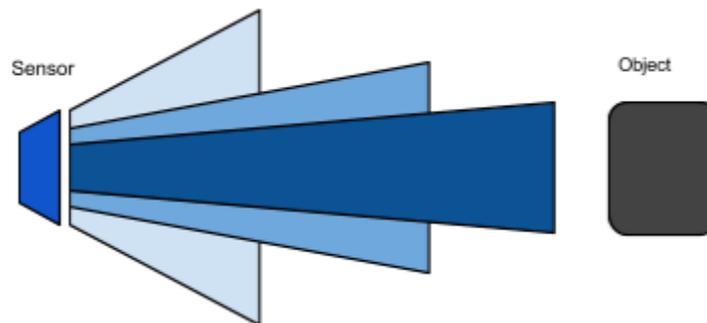
Sensor ultrasonik pada dasarnya merupakan sensor suara yang bekerja pada frekuensi diatas pendengaran manusia (ultrasonik) [13]. Sensor ultrasonik berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi sangat tinggi yaitu 20.000 Hz [10]. Sensor ultrasonik memiliki 4 pin seperti yang terlihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2. 12 Sensor Ultrasonik

(Sumber: UB Press, Pengantar Teknologi Sensor)

Pin *Vcc* digunakan untuk *supply* tegangan positif, pin *gnd* untuk *ground*-nya. Pin *Trigger* digunakan untuk *trigger* keluarnya sinyal dari sensor dan pin *Echo* berfungsi untuk menangkap sinyal pantul dari objek [13]. Sensor ultrasonik memiliki kemampuan mendeteksi keberadaan objek pada berdasarkan jarak objek terhadap sensor seperti yang terlihat pada **Gambar 2.13**. Semakin dekat jarak objek terhadap sensor, maka semakin luas sudut pantulan gelombang ultrasonik yang dapat diterima. Sebaliknya, jika jarak objek terhadap sensor semakin jauh, maka sudut pantulan gelombang ultrasonik lebih kecil [14].

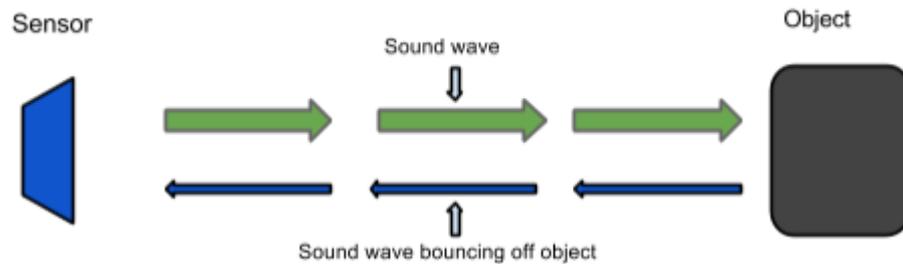


Gambar 2. 13 Jarak Deteksi Sensor Ultrasonik berdasarkan Sudut Pantulan

(sumber : <https://s-o.webnode.cz/files/200001547-3ef073fea3/hcsr04.pdf>)

2.3.3.1 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik

Prinsip kerja dari sensor ultrasonik adalah mengirimkan gelombang ultrasonik dan menerimanya kembali setelah dipantulkan oleh objek yang berada didekatnya seperti yang terlihat pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 Analogi Gelombang Ultrasonik pada Sensor

(Sumber : <https://s-o.webnode.cz/files/200001547-3ef073fea3/hcsr04.pdf>)

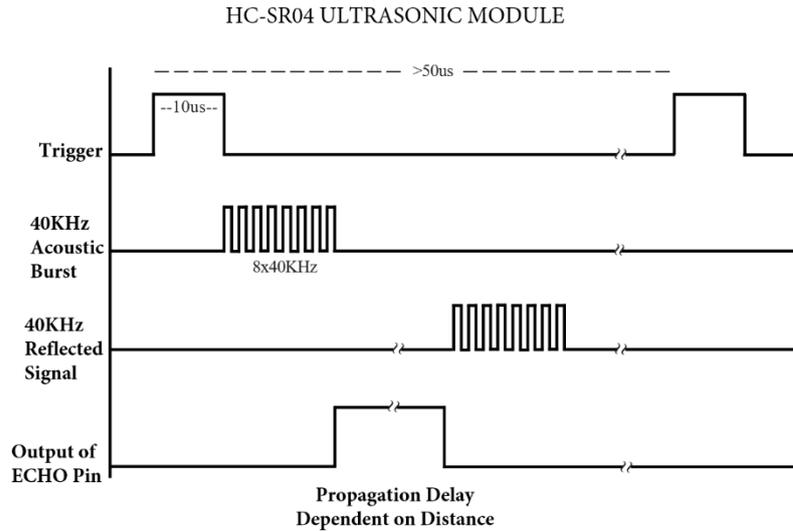
Sensor ultrasonik akan menghitung waktu tunda dari pengiriman gelombang ultrasonik sampai gelombang tersebut diterima kembali oleh sensor setelah dipantulkan oleh objek [15]. *Time delay* atau waktu tunda inilah yang akan digunakan untuk menghitung jarak antara objek dengan sensor menggunakan rumus berikut:

$$S = V \times t \quad (2.2)$$

Waktu yang dibutuhkan oleh sensor untuk menerima pantulan gelombang ultrasonik dari objek adalah dua kali waktu yang dibutuhkan gelombang ultrasonik untuk menyentuh objek sehingga persamaan diatas harus dibagi 2. Kecepatan pancaran gelombang ultrasonik pada suhu dan tekanan ruang adalah 343 m/s [14] sehingga persamaan jarak objek terhadap sensor adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{343^{m/s} \times t}{2} \quad (2.3)$$

Pada saat modul sensor ultrasonik dioperasikan, sensor membutuhkan tegangan positif pada pin Trigger selama 10uS sehingga sensor akan mengirimkan 8 siklus sinyal ultrasonik dengan frekuensi 40kHz [15] seperti yang terlihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2. 15 Timing Diagram Sensor Ultrasonik HC-SR04

(Sumber: <https://www.microcontrollertips.com/principle-applications-limitations-ultrasonic-sensors-faq/>)

Pada saat sensor memancarkan gelombang ultrasonik, maka sinyal akan diterima oleh pin Echo sehingga pulsa keluaran dari pin Echo akan HIGH. Pulsa keluaran pada pin Echo akan tetap HIGH sampai pantulan gelombang ultrasonik diterima kembali oleh sensor [15].

2.3.3.2 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor Ultrasonik HC-SR04 memiliki beberapa spesifikasi seperti yang terlihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

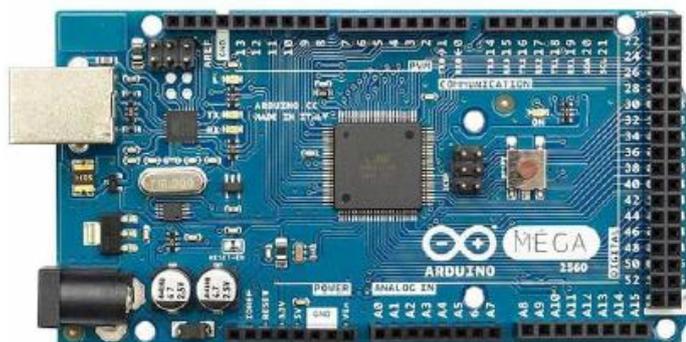
No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jangkauan deteksi	2 cm s/d 400-500 cm
2	Sudut deteksi terbaik	15 derajat
3	Tegangan Kerja	5 VDC
4	Resolusi	1 cm
5	Frekuensi Ultrasonik	40 KHz
6	Jumlah pin	4

2.4 Mikrontroller

Mikrokontroler merupakan chip mikrokomputer berupa sebuah IC (*Integrated Circuit*) [16]. Mikrokontroler berisikan bagian-bagian utama yaitu CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random-Access Memory*), ROM (*Read-Only Memory*) dan port I/O (*Input/Output*). Selain bagian-bagian utama tersebut, terdapat beberapa perangkat keras yang dapat digunakan untuk banyak keperluan seperti melakukan pencacahan, melakukan komunikasi serial, melakukan interupsi dan lain sebagainya.

2.4.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah piranti mikrokontroler menggunakan ATmega2560 [17]. Modul ini memiliki 54 digital input atau output. Dimana 14 pin digunakan untuk PWM output dan 16 pin digunakan sebagai analog input, 4 pin untuk UART, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, power jack ICSP header, dan tombol reset. Modul ini memiliki port kabel USB yang dapat dihubungkan dengan komputer dan catu daya melalui adaptor atau baterai. Arduino Mega 2560 terdiri dari beberapa pin diantaranya pin *power*, pin *analog in*, pin *digital I/O*, *communication* dan PWM seperti yang terlihat pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2. 16 Arduino Mega 2560

(Sumber : <https://microcontrollerslab.com/introduction-arduino-mega-2560/>)

Board Arduino Mega 2560 membutuhkan power yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau via power supply eksternal. Board dapat beroperasi dengan power dari external power supply yang memiliki tegangan antara 6V hingga 20V. Namun

ada beberapa hal yang harus anda perhatikan dalam rentang tegangan ini. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, pin 5V tidak akan memberikan nilai murni 5V, yang mungkin akan membuat rangkaian bekerja dengan tidak sempurna. Jika diberi tegangan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa over heat yang pada akhirnya bisa merusak pcb. Dengan demikian, tegangan yang di rekomendasikan adalah 7V – 12V [12]. Berikut merupakan konfigurasi pin-pin power pada Arduino :

- **GND.** Ini adalah *ground* atau negatif.
- **Vin.** Ini adalah pin yang digunakan jika anda ingin memberikan power langsung ke board *Arduino* dengan rentang tegangan yang disarankan 7V - 12V
- **Pin 5V.** Ini adalah pin output dimana pada pin tersebut mengalir tegangan 5V yang telah melalui regulator
- **3V3.** Ini adalah pin output dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3.3V yang telah melalui regulator
- **IOREF.** Ini adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrokontroler. Biasanya digunakan pada board shield untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3.3V

Arduino Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digital(Read)` [17]. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan pull-up sekitar 20-50k ohm (secara default dalam posisi disconnect). Nilai maximum adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan chip mikrokontroler. Selain digital output, *Arduino Mega 2560* memiliki 16 buah input analog. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari *ground* ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. Beberapa in lainnya pada board ini adalah :

- **AREF.** Sebagai referensi tegangan untuk input analog.
- **Reset.** Hubungkan ke LOW untuk melakukan reset terhadap mikrokontroler sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia

2.4.2 *Raspberry Pi*

Raspberry Pi memiliki ARM1176JZF-S 700 MHz CPU untuk Graphics telah disertakan VideoCore IV GPU, serta telah memiliki ram sebesar 256MB untuk model A, dan telah ditingkatkan ke 512 MB untuk model B dan B+ pada generasi pertama [18]. Sedangkan untuk generasi kedua *Raspberry Pi* memiliki Processor Broadcom BCM2836 SoC, dengan *Processor quad-core* ARM Cortex-A7 CPU dan sebuah *VideoCore IV* dual-core GPU; serta memiliki ram sebesar 1 GB. *System on Chip* yang dipakai oleh *Raspberry Pi* diciptakan oleh Boradcom, dan menggunakan arsitektur ARM. *Raspberry Pi* dapat diperlihatkan pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2. 17 Raspberry Pi

(Sumber: <https://www.raspberrypi.org/products/>)

Lebih jelasnya dari *Raspberry Pi* model B, berikut ini:

1. *Broadcom* BCM2835 ARM11 700Mhz merupakan otak dari *Raspberry Pi* B.
2. HDMI out HDMI 1.3 *a-compliant* mendukung sinyal HDMI dan DVI-D.
3. CSI *connector camera*, dengan 15 pin *flat flex* kabel *header* untuk CSI-2 interface MIPI Aliansi. Standar antarmuka CSI mendefinisikan standar antarmuka serial searah untuk perangkat kamera CSI-compliant.
4. *Ethernet Out* (hanya dalam model 256 Mb) Mendukung fungsi Wakeon-LAN dan TCP / UDP - USB 2.0 Fungsi USB disediakan oleh SMSC LAN9512 pada kedua Model A dan Model B. LAN9512 adalah paket

menarik dan cara yang sangat baik untuk V menghemat ruang PCB. *Port* USB pada Pi adalah USB 2.0 dengan maksimum menarik arus yang disarankan 100 mA.

5. **Status LED** Memiliki 4 Led sebagai indicator status dari setiap fungsi pada *Raspberry* Pi. D5 menyala hijau menjelaskan *system/* akses terkoneksi dengan SD card, D6 menyala merah menjelaskan *power* terkoneksi, 3.3V. D7 menyala hijau sebagai *full duplex, half duplex* jika LED padam. D8 menyala hijau menjelaskan *link activity* untuk LAN.
6. **AUDIO OUPUT** sebagai stereo audio output.
7. **JTAG Header** *JTAG interface* digunakan untuk memprogram *chip* SoC dan chip SMSC didalam *board*. Pabrikan juga menggunakan JTAG untuk menguji hardware pada saat pembuatannya.
8. **RCA Video output** sebagai video output cadangan pada *Raspberry* Pi apabila fungsi HDMI tidak digunakan.
9. **GPIO Header** terdiri dari 26 pin yang berfungsi untuk pengontrolan suatu perangkat yang dikontrol oleh suatu perangkat lunak baik dikonfigurasi sebagai pin input maupun sebagai pin output. Fitur-fitur pada GPIO diantaranya: pin I2C, pin RX TX, pin PWM, pin PPM dan disediakan pin dengan tegangan 5V dan 3.3V. Semua pin pada GPIO memiliki tingkat logika 3.3V.
10. **DSI Display connector**, dengan 15 pin *flat flex* yang tampak persis dengan dega *CSI-2 interface*, biasanya digunakan untuk display LCD seperti LCD pada ponsel. DSI juga dapat digunakan sebagai I2C.
11. **SD card slot** sebagai *slot* untuk SD card atau *slot* mikro SD, yang berisikan OS untuk di akses oleh pengguna *Raspberry* Pi B.
12. **Micro USB power**, dengan power input 5V 1A DC untuk memenuhi kebutuhan tegangan dan arus pada *Raspberry* Pi B.

2.5 Aktuator

Aktuator adalah elemen yang mengkonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya misalnya kecepatan putaran dan merupakan perangkat

elektromagnetik yang menghasilkan daya gerakan sehingga dapat menghasilkan gerakan pada robot [19].

Jenis tenaga penggerak pada aktuator

- Aktuator tenaga elektrik, biasanya digunakan solenoid, motor arus searah (mesin DC). Sifat mudah diatur dengan torsi kecil sampai sedang
- Aktuator tenaga hidrolik, torsi yang besar konstruksinya sukar
- Aktuator tenaga pneumatik, sukar dikendalikan
- Aktuator lainnya : piezoelectric, magnetic, ultra sound

2.5.1 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi rotor-nya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo [20]. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, rangkaian gear, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel *motor servo*. Motor servo dikemas dalam bentuk segi empat dengan sebuah *output shaft* motor dan konektor dengan 3 kabel yaitu *ground*, *power* dan *control*. Jenis motor servo berdasarkan sudut operasi motor *servo* dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Motor Servo *Standart*

Motor servo *standart* merupakan motor *servo* yang mampu bergerak CW dan CCW dengan sudut operasi tertentu, misal 60°, 90° atau 180°. sudut maksimal yang diperbolehkan untuk motor *servo* standart adalah 180°. Motor *servo* ini sering dipakai pada sistem robotika yang menggunakan lengan atau kaki.

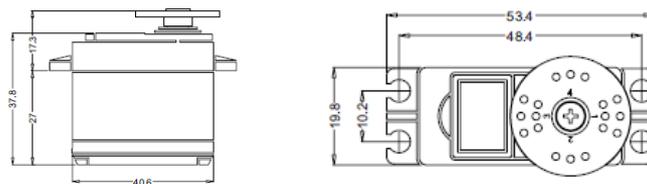
2. Motor Servo *Continous*

Motor *servo continous* adalah motor *servo* yang mampu bergerak CW dan CCW tanpa batasan sudut operasi (berputar secara kontinyu). Motor *servo* ini sering digunakan sebagai aktuator pada *mobile* robot. Motor *servo* beroperasi pada tegangan *supply* 4,8 volt hingga 7,2 volt.



Gambar 2. 18 Motor Servo

(Sumber : *Datasheet Motor Servo.pdf*)



Gambar 2. 19 Struktur Motor Servo

(Sumber : *Datasheet Motor Servo.pdf*)

Motor servo pada dasarnya dibuat menggunakan motor DC yang dilengkapi dengan *controler* dan sensor posisi sehingga dapat memiliki gerakan 0° , 90° , 180° atau 360° . Tiap komponen pada motor servo memiliki fungsi sebagai *controler*, *driver*, *sensor*, *gearbox* dan *actuator*. Motor pada sebuah motor servo adalah motor DC yang dikendalikan oleh bagian *controler*, kemudian komponen yang berfungsi sebagai sensor adalah potensiometer yang terhubung pada sistem gearbox pada motor servo.

2.6 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah sebuah peralatan elektronik yang berfungsi untuk menampilkan output sebuah sistem dengan cara membentuk suatu citra atau gambaran pada sebuah layar. Secara garis besar komponen penyusun LCD terdiri dari kristal cair (*liquid crystal*) yang diapit oleh 2 buah elektroda transparan dan 2 buah filter polarisasi (*polarizing filter*).

Pada layar LCD terdapat matriks yang merupakan susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom. Dengan demikian, setiap pertemuan baris dan kolom terdiri dari LED pada bidang latar (*backplane*), yang merupakan

lempengan kaca bagian belakang dengan sisi dalam yang ditutupi oleh lapisan elektroda transparan.



Gambar 2. 20 LCD 16 x2

(Sumber :<http://www.sainsmart.com/sainsmart-iic-i2c-twi-1602-serial-lcd-module-display-for-arduino-mega2560-uno-r3.html>)

Prinsip kerja LCD 16x2 adalah dengan menggunakan lapisan film yang berisi kristal cair dan diletakkan di antara dua lempeng kaca yang telah dipasang elektroda logam transparan. Saat tegangan dicatukan pada beberapa pasang elektroda, molekul-molekul kristal cair akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Dari hasil penyerapan cahaya tersebut akan terbentuk huruf, angka, atau gambar sesuai bagian yang diaktifkan.

2.7 Digital Image Processing

Pengolahan citra digital (*digital image processing*) merupakan proses mengolah piksel-piksel di dalam citra digital untuk tujuan tertentu [21]. Proses Pengolahan citra digital bertujuan untuk menghasilkan citra yang lebih baik kualitasnya seperti yang terlihat pada gambar 2.22.



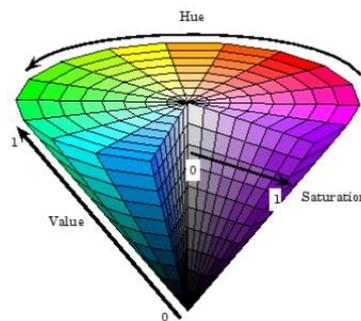
Gambar 2. 21 Pengolahan Citra Digital

(Sumber : Andi OFFSER, pengolahan citra digital)

Masukan dari proses pengolahan citra digital adalah sebuah citra digital yang selanjutnya akan diproses dan ditransformasikan menjadi citra digital yang memiliki kualitas lebih baik.

2.7.1 Pemodelan Warna HSV

HSV merupakan salah satu cara untuk mendefinisikan warna yang didasarkan pada roda warna. Hue merupakan jenis warna atau corak warna seperti merah biru atau kuning yang biasa ditemukan pada spectrum warna. Saturation menunjukkan radius roda warna sehingga menunjukkan proporsi antara warna gelap ke warna putih murni sedangkan value menunjukkan tingkat kecerahan.



Gambar 2. 22 Model Warna HSV

(Sumber : <http://www.kitainformatika.com/2015/01/ruang-warna-hue-saturation-value-hsv.html>)

Ruang warna HSV dapat memilah warna dalam citra seperti penglihatan mata manusia sehingga dapat mengenali warna citra dengan baik. Proses untuk mendapatkan nilai fitur warna dapat dimulai dengan konversi citra RGB menjadi citra HSV.

2.7.2 Metode Thresholding

Thresholding adalah suatu proses mengubah citra berderajat keabuan menjadi citra biner atau hitam putih dengan nilai 0 atau 1. Sehingga dapat diketahui daerah mana yang termasuk dalam objek dan background dari suatu citra. Thresholding memisahkan antara foreground atau object dalam suatu citra berdasarkan pada perbedaan tingkat kecerahannya atau gelap terang citra tersebut.

Daerah citra yang cenderung gelap akan dibuat semakin gelap (hitam sempurna dengan nilai intensitas sebesar 0), sedangkan region citra yang cenderung terang akan dibuat semakin terang (putih sempurna dengan nilai intensitas sebesar 1). Oleh karena itu, keluaran dari proses segmentasi dengan metode thresholding adalah berupa citra biner dengan nilai intensitas piksel sebesar 0 atau 1.

2.8 *Inverse Kinematics*

Inverse Kinematics mengacu pada penggunaan persamaan kinematika robot untuk menentukan parameter bersama yang memberikan posisi yang diinginkan pada posisi akhir atau efektor. Spesifikasi pergerakan robot sehingga posisi akhir atau efektor mencapai titik yang diinginkan adalah dikenal sebagai perencanaan gerak. *Inverse kinematics* mengubah rencana gerak menjadi nilai yang harus diberikan bagi actuator atau penggerak dalam pergerakan robot. Dalam pergerakannya, robot dimodelkan dalam bentuk persamaan kinematika. Persamaan ini menentukan konfigurasi robot dalam parameter untuk menghitung konfigurasi robot.

Pada perhitungan *inverse kinematics*, posisi akhir dari *end-effector* akan menentukan pergerakan dari robot berdasarkan besaran masing-masing sudut *joint* dari robot tersebut.

2.9 Open CV

OpenCV (*Open Computer Vision*) merupakan salah satu produk *opensource* dan merupakan sebuah API (*Application Programming Interface*) *Library* yang sudah sangat familiar pada pengolahan citra. *OpenCV* sendiri diluncurkan dalam lisensi BSD dan bebas digunakan untuk keperluan akademik maupun komersial. Produk ini mendukung *interface* C/C++, python, java, serta dapat dijalankan diberbagai *platform* seperti Windows, Linux, Mac OS, iOS dan Android.



Gambar 2. 23 Logo OpenCV

(Sumber : <https://opencv.org/>)

Computer Vision adalah salah satu cabang dari bidang ilmu pengolahan citra atau dikenal sebagai *image processing* yang memungkinkan komputer dapat melihat seperti manusia [21S]. Dengan penglihatan tersebut, komputer dapat mengambil keputusan, melakukan aksi, dan mengenali terhadap suatu objek. Beberapa pengembangan dan proyek-proyek dari produk ini adalah *face recognition*, *face detection*, *face/object tracking*, maupun *road tracking*.

OpenCV memiliki fitur yang bisa dimanfaatkan dalam melakukan riset atau pekerjaan yang berhubungan dengan *computer vision* (*image processing*, *video processing*, dan lain-lain) diantaranya:

1. Manipulasi data citra (*alokasi, copying, setting, konversi*).
2. *Image* dan video I/O (*file dan input based camera, image/video file output*)
3. Manipulasi matriks dan vektor beserta aljabar linear (*products, solvers, eigen values, SVD*).
4. Data struktur dinamis (*lists, queues, sets, trees, graphs*).
5. Pemrosesan citra fundamental (*filtering, edge detection, corner detection, sampling and interpolation, color conversion, morphological operations, histograms, image pyramids*).
6. Analisis struktur (*connected components, contour processing, distance transform, various moments, template matching, hough transform, polygonal approximation, line fitting, ellipse fitting, delaunay triangulation*).
7. Kalibrasi kamera (*calibration patterns, estimasi fundamental matriks, estimasi homography, stereo correspondence*).
8. Analisis gerakan (*optical flow, segmentation, tracking*).
9. Pengenalan objek (*eigen-methods, HMM*).

10. *Graphical User Interface (display image/video, penanganan keyboard dan mouse handling, scroll-bars).*

11. Pelabelan citra (*line, conic, polygon, text drawing.*