

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

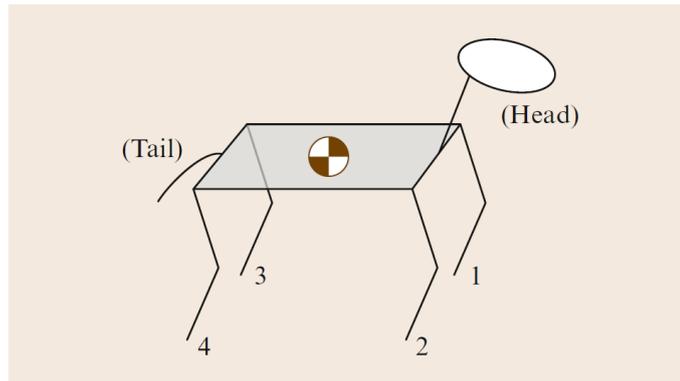
2.1 Robot Berkaki

Robot berkaki adalah jenis *mobile robot* yang dapat bergerak menggunakan kaki-kaki buatan, ragamnya yaitu robot berkaki dua (*humanoid*), berkaki tiga (*tripod*), berkaki empat (*quadrapod*), robot berkaki enam (*hexapod*) dan sebagainya. Bidang robot berkaki ini pertama kali dicetuskan pada tahun 1970 oleh Kato dan Vukobratovic. Kato dan tim memperkenalkan robot *anthropomortphic* pertama yaitu robot WABOT1 di Jepang tahun 1973. Kemudian M. Vukobratovic dan timnya mendesain *active exoskeletons* pertama dan beberapa perangkat lainnya seperti *Belgrade's hand* di Mihailo Puppin Institute, Belgrade, Yugoslavia. (Kajita, S., Espiau, B.: 2008)

Kelebihan utama dari robot berkaki jika dibandingkan dengan robot beroda adalah kemampuannya untuk bergerak di medan yang tidak rata atau *uneven floor*. Jumlah *degree of freedom* yang dimiliki tiap kaki robot berkisar dua atau lebih. Adapun agar robot dapat berjalan, kombinasi gerakan pada masing-masing servo harus diatur dan diperhitungkan sehingga menyerupai pergerakan pada manusia/hewan. Cara berjalan mamalia dan reptil sering dicontoh untuk diimplementasikan ke robot.

2.1.1 Robot Berkaki Empat (*Quadruped*)

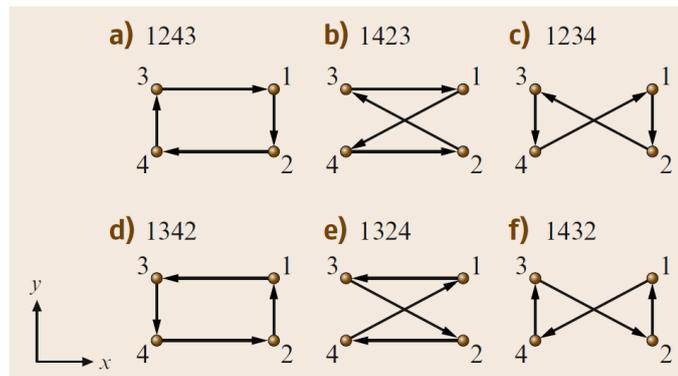
Jika dibandingkan dengan robot humanoid, robot berkaki banyak memiliki keleluasan penempatan kaki untuk menjaga keseimbangan. Diantara robot berkaki lainnya, robot *quadruped* sering dijadikan pilihan karena memiliki mobilitas dan kestabilan yang baik dibandingkan robot *humanoid* dan tidak sekompleks konstruksi robot *hexapod*. (Y., Li. dkk: 2011) Gambar di bawah ini merupakan ilustrasi dari pelabelan kaki robot *quadruped*.



Gambar 2. 1 Pelabelan Kaki pada Robot Quadruped
(Sumber: Kajita, S., Espiau, B.: 2008)

2.1.1.1 *Creeping Gait*

Creeping gait merupakan cara berjalan dimana salah satu kaki melangkah dan tiga kaki lainnya diam untuk menopang tubuh robot secara bergantian dalam satu fase. (Wang, J., dkk: 2016) Gambar di bawah merupakan contoh urutan langkah kaki robot *quadruped* dalam satu fasenya. Adapun cara berjalan yang paling stabil diperoleh dari urutan 1423 karena pergerakannya sejajar dengan sumbu-x, *gait* ini dinamakan *crawl gait*. Kemudian urutan 1243 dan 1342 berada di posisi nomor dua dalam kestabilan dan *gait* ini cocok digunakan untuk berbelok. (Kajita, S., Espiau, B.: 2008)

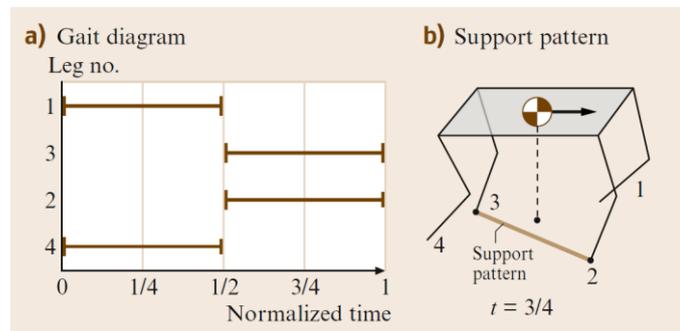


Gambar 2. 2 *Quadruped Creeping Gait*
(Sumber: Kajita, S., Espiau, B.: 2008)

2.1.1.2 *Trotting Gait*

Trotting gait merupakan cara berjalan dimana dua kaki yang terletak secara diagonal melangkah secara bersamaan sedangkan dua lainnya diam untuk menopang tubuh robot. Gaya berjalan ini dinilai dinamis serta lebih menghemat

konsumsi daya dibanding *creeping gait*. Sehingga perbedaan fase antara kakinya adalah setengah siklus.



Gambar 2.3 *Quadruped Trotting Gait*
(Sumber: Kajita, S., Espiau, B.: 2008)

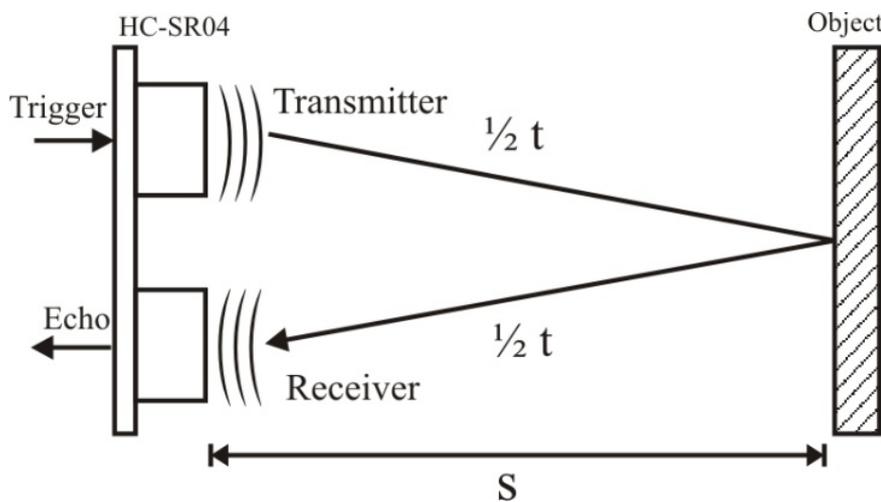
2.2 Sensor

Sensor adalah sebuah perangkat atau device yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah oleh sistem digital. Salah satu peran sensor dalam robotika adalah sebagai input navigasi suatu robot, seperti sensor cahaya, sensor jarak, sensor api, sensor suhu, dll.

2.4.1 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara untuk mendeteksi keberadaan objek di hadapannya, frekuensi kerjanya berkisar dari 40 KHz hingga 400 KHz. Sensor ini mampu mendeteksi jarak tanpa ada kontak fisik dengan akurasi yang tinggi dan pembacaan yang stabil. Sensor ultrasonik terdiri 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 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*. Kontraksi yang terjadi diteruskan ke diafragma penggetar sehingga terjadi gelombang ultrasonik yang dipancarkan ke udara (tempat sekitarnya). Pantulan gelombang ultrasonik akan terjadi bila ada objek tertentu dan pantulan gelombang ultrasonik akan diterima kembali oleh unit sensor penerima. Selanjutnya unit sensor penerima akan menyebabkan diafragma penggetar akan

bergetar dan efek piezoelectric menghasilkan sebuah tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang sama.



Gambar 2. 4 Cara Kerja Sensor Ultrasonik

(Sumber: <https://www.andalanelektro.id/2018/09/cara-kerja-dan-karakteristik-sensor-ultrasonic-hcsr04.html> diakses tanggal 7 Juli 2020)

Cara kerja sensor ini menggunakan metode pantulan untuk menghitung jarak antara sensor dengan objek sasaran. Jarak antara sensor tersebut dihitung dengan cara mengalikan setengah waktu yang digunakan oleh sinyal ultrasonik dalam perjalanannya dari rangkaian pengirim (Tx) sampai diterima oleh rangkaian penerima (Rx) dengan kecepatan rambat dari sinyal ultrasonik tersebut pada media rambat yang digunakannya, yaitu udara. Waktu dihitung ketika pemancar aktif dan sampai ada input dari rangkaian penerima dan bila pada melebihi batas waktu tertentu rangkaian penerima tidak ada sinyal input maka dianggap tidak ada halangan didepannya. Sensor ini bisa digunakan untuk mengukur jarak benda dari 2 cm – 4 m dengan akurasi 3mm. Berikut adalah pin diagram dari sensor ultrasonik HC-SR04.

Tabel 2. 1 Pin Diagram Sensor Ultrasonik HC-SR04

Nama	Pin	Fungsi
Vcc	1	Terhubung ke catu daya 5V
Trig	2	Menerima pulsa dari mikrokontroler supaya sensor dapat mengeluarkan sinyal untuk mendeteksi objek
Echo	3	Menangkap sinyal yang dipantulkan dari objek
GND	4	Sebagai <i>ground</i> pada <i>power supply</i>

Prinsip pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 adalah, ketika pulsa trigger diberikan pada sensor, transmitter akan mulai memancarkan gelombang ultrasonik, pada saat yang sama sensor akan menghasilkan output TTL transisi naik menandakan sensor mulai menghitung waktu pengukuran, setelah receiver menerima pantulan yang dihasilkan oleh suatu objek maka pengukuran waktu akan dihentikan dengan menghasilkan output TTL transisi turun. Jika waktu pengukuran adalah t dan kecepatan suara adalah 340 m/s , maka jarak antara sensor dengan objek dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

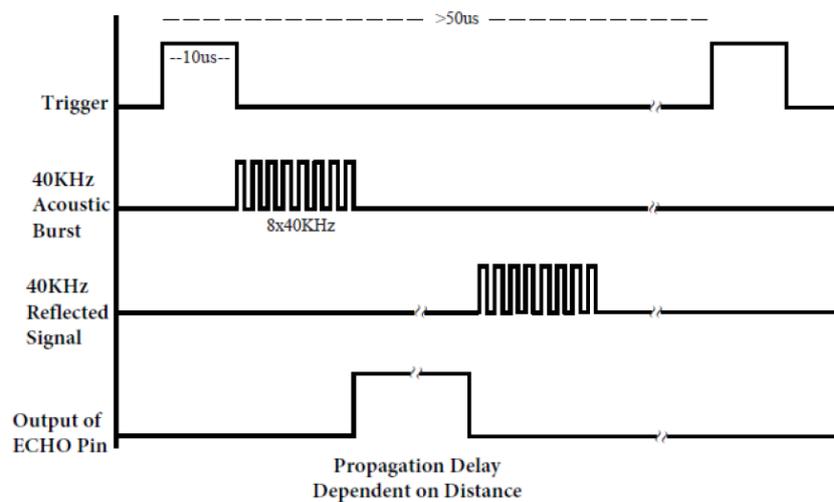
$$s = t \times \frac{340 \text{ m/s}}{2}$$

Dimana:

s = jarak antara sensor dan objek (m)

t = waktu tempuh gelombang ultrasonik dari *transmitter* ke *receiver* (s)

Sensor ini memiliki 4 buah pin, yaitu Vcc, Gnd, Trigger, dan Echo. Pin Vcc dan Gnd digunakan sebagai *supply power* sensor. Pin Trigger untuk memicu keluarnya sinyal dari sensor dan pin Echo untuk menangkap sinyal pantul dari benda. Ketika diberikan tegangan positif pada pin Trigger selama $10\mu\text{s}$, maka sensor akan mengirimkan 8 step sinyal ultrasonik dengan frekuensi 40kHz . Selanjutnya, sinyal akan diterima pada pin Echo. Untuk mengukur jarak benda yang memantulkan sinyal tersebut, maka selisih waktu ketika mengirim dan menerima sinyal digunakan untuk menentukan jarak benda tersebut.



Gambar 2.5 Timing Diagram Sensor Ultrasonik

(Sumber: Datasheet Sensor HC-SR04)

2.4.2 Sensor Kompas

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).



Gambar 2. 6 Sensor Kompas HMC5883L

(Sumber: Datasheet HMC5883L)

HMC5883L adalah sebuah sensor yang digunakan untuk menunjukkan arah mata angin, atau bisa juga disebut sebagai kompas digital. Sensor ini menggunakan komponen utama berupa IC HMC5883L yang merupakan IC kompas digital 3 axis yang memiliki interface berupa 2 pin I2C. HMC5883L memiliki sensor magnetoresistive HMC118X series ber-resolusi tinggi, ditambah ASIC dengan konten amplification, automatic degaussing strap driver, offset cancellation dan 12 bit ADC yang memungkinkan keakuratan kompas mencapai 1 sampai 2 derajat. Modul ini biasa digunakan untuk keperluan sistem navigasi otomatis, mobile phone, netbook dan perangkat navigasi personal. Modul ini memiliki 5 pin, diantaranya adalah VCC, GND, SDA, SCL dan DRDY yang selengkapnya dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2. 2 Pin Diagram Sensor Kompas HMC5883L

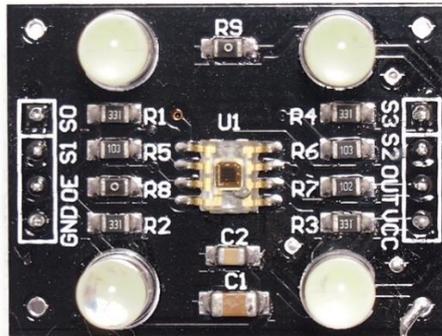
Nama	Pin	Fungsi
VCC	1	Terhubung ke catu daya 5V
GND	2	Sebagai <i>ground</i> pada <i>power supply</i>
SCL	3	Masukan <i>clock</i> I2C
SDA	4	Masukan data I/O I2C
DRDY	5	<i>Data ready output</i>

HMC5883L menggunakan tiga unsur magnetoresistif. Salah satunya adalah dapat mengubah perlawanan secara proporsional dengan kekuatan medan magnet di sepanjang sumbunya. Poin penting yang perlu dicatat bahwa kepekaan setiap elemen individu magnetoresistif merupakan komponen yang sejajar antara medan magnet dengan sumbu elemen. Ketiga unsur dalam paket sensor yang berorientasi sedemikian rupa sehingga masing-masing adalah orthogonal dengan dua lainnya. Dengan kata lain, masing-masing sumbu X, Y dan Z adalah searah. Dengan demikian, ketika paket sensor terkena medan magnet, kekuatan dan arah medan yang dalam ruang tiga-dimensi dapat ditentukan dari resistensi yang ditunjukkan oleh tiga elemen. HMC5883L menyajikan kepekaan medan magnet sebagai vektor terhadap ketiga sumbu yang ditandai dengan 16-bit (satu untuk setiap sumbu). Hal ini juga secara otomatis mengkompensasi setiap ketergantungan internal terhadap pengaruh offset dan sudut pada masing-masing elemen.

2.4.3 Sensor Warna

Sensor warna adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi warna dari objek yang terletak di hadapannya serta dapat digunakan sebagai sensor gerak, dimana sensor mendeteksi gerakan suatu objek berdasarkan perubahan warna yang diterima oleh sensor. Pada dasarnya sensor warna ini adalah rangkaian photodiode yang disusun secara matrik array 8x8 dengan 16 buah konfigurasi photodiode yang berfungsi sebagai filter warna merah, 16 photodiode sebagai filter warna biru dan 16 photodiode lagi tanpa filter warna, dalam penelitian ini penulis menggunakan sensor TCS3200. Sensor TCS3200 merupakan sensor yang dikemas dalam chip DIP 8 pin dengan bagian muka transparan sebagai tempat menerima intensitas

cahaya yang berwarna. Berikut adalah bentuk fisik dari sensor TCS3200 beserta pin diagramnya.



Gambar 2. 7 Sensor TCS3200

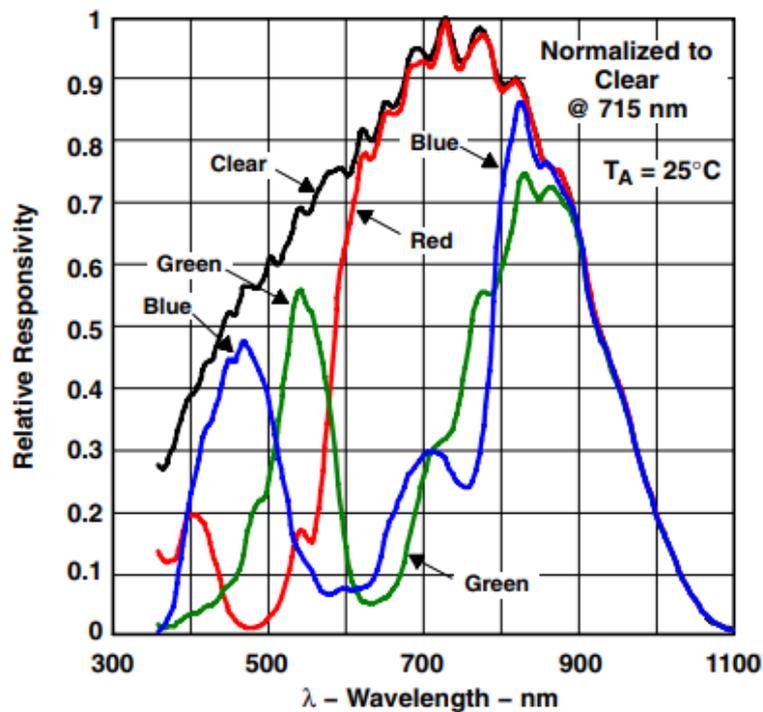
(Sumber: Datasheet Sensor TCS3200)

Tabel 2. 3 Pin Diagram Sensor Warna TCS3200

Nama	Pin	Fungsi
S0, S1	1, 2	Sebagai saklar untuk memilih pada output skala tinggi
OE	3	Sebagai input untuk frekuensi output skala rendah
GND	4	Sebagai <i>ground</i> pada <i>power supply</i>
VDD	5	Terhubung ke catu daya 5V
OUT	6	Sebagai output frekuensi
S2, S3	7, 8	Sebagai saklar pemilih 4 jenis photodiode (merah, hijau, biru, <i>clear</i>) yang telah aktif

Pada prinsipnya pembacaan warna pada TCS3200 dilakukan secara bertahap yaitu membaca frekuensi warna dasar dengan cara memfilter tiap warna dasar. Untuk itu diperlukan sebuah pengaturan atau pemrograman untuk memfilter setiap warnanya. Sensor warna TCS3200 terdiri dari 4 kelompok photodiode yang memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap panjang gelombang cahaya yang dibaca. Photodiode yang mendeteksi warna merah dan *clear* memiliki nilai sensitivitas yang tinggi ketika mendeteksi intensitas cahaya dengan panjang gelombang 715 nm, sedangkan pada panjang gelombang 1100 nm photo dioda tersebut memiliki nilai sensitivitas yang paling rendah, hal ini menunjukkan bahwa sensor TCS3200 tidak bersifat linearitas dan memiliki sensitivitas yang berubah

terhadap panjang gelombang yang diukur, seperti yang dapat dilihat pada kurva karakteristik di bawah ini.

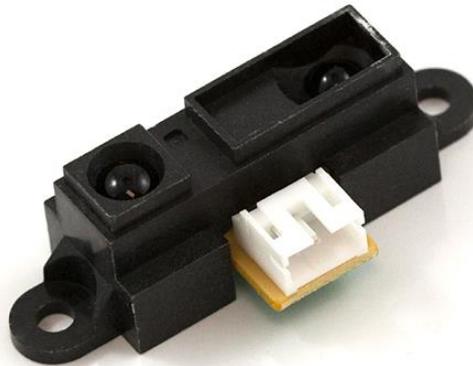


Gambar 2. 8 Kurva Karakteristik Sensitivitas Terhadap Panjang Gelombang
(Sumber: Datasheet Sensor TCS3200)

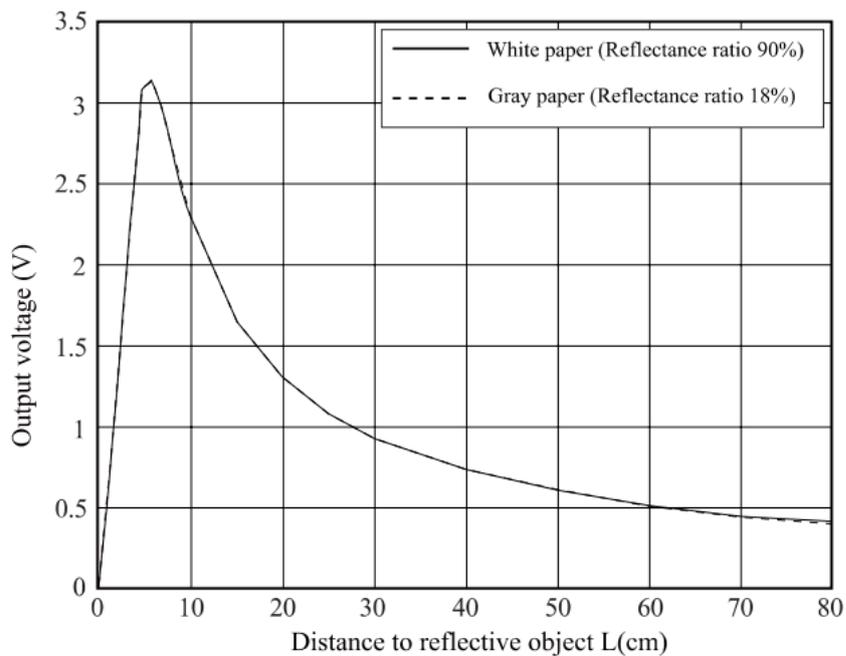
2.4.4 Sensor Jarak

Sensor Sharp 2Y0A21 adalah unit sensor pengukur jarak yang terdiri dari *integrated circuit PSD (position sensitive detector)*, *IRED (infrared emitting diode)* dan *signal processing circuit*. Sensor ini termasuk pada sensor jarak kategori optik. Pada dasarnya, sensor ini sama seperti sensor *infrared* konvensional, GP2Y0A21 memiliki bagian *transmitter/emitter* dan *receiver*. Bagian *transmitter* akan memancarkan sinyal *infrared*, sedangkan pantulan dari *infrared* (apabila mengenai sebuah objek) akan ditangkap oleh bagian *receiver* yang terdiri dari lensa fokus dan sebuah linear *CCD array*. Linier *CCD array* terdiri atas sederetan elemen peka cahaya yang disebut piksel (*picture element*). *Interfacing* ke mikrokontroler yang paling mudah adalah output analog tunggal dapat dihubungkan ke sebuah konverter analog ke digital untuk melakukan pengukuran jarak, atau output dapat dihubungkan ke komparator untuk deteksi ambang batas. Jangkauan deteksi jarak

berkisar dari 10 cm sampai 80 cm. Gambar di bawah ini merupakan bentuk fisik sensor serta kurva karakteristik jarak pantulan objek terhadap tegangan keluarannya.



Gambar 2. 9 Sensor Sharp 2Y0A21
(Sumber: Datasheet Sharp GP2Y021YK0F)



Gambar 2. 10 Kurva Karakteristik Pengukuran Jarak
(Sumber: Datasheet Sharp GP2Y0A21YK0F)

Sensor ini memiliki 3 pin yaitu *voltage*, *ground* dan *signal*. Output sensor ini adalah analog tunggal yang dapat terhubung ke sebuah konverter analog ke-digital untuk mengambil pengukuran jarak atau output dapat dihubungkan ke comparator untuk deteksi ambang batas. Untuk menghubungkan sensor ke mikrokontroler, sensor Sharp GP2Y0A21 menggunakan konektor JST 3-pin yang terhubung ke kabel 3-in JST untuk sensor jarak itu sendiri.

2.3 Servo

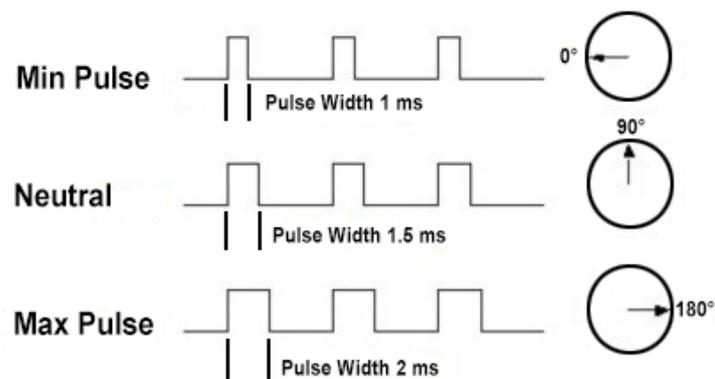
Motor servo merupakan sebuah motor yang memiliki sistem loop tertutup dimana posisi dari motor akan kembali dikonfirmasi pada rangkaian kontrol di dalam motor servo. Motor servo adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup dimana posisi rotor-nya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian 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. [10] Keunggulan dari penggunaan motor servo adalah:

1. Tidak bergetar dan tidak ada resonansi saat beroperasi.
2. Daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor.
3. Penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan.
4. Resolusi dan akurasi dapat diubah dengan hanya mengganti encoder yang dipakai.
5. Tidak berisik saat beroperasi dengan kecepatan tinggi.

Di balik keunggulan yang dimilikinya, motor servo juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

1. Memerlukan pengaturan yang tepat untuk menstabilkan umpan balik.
2. Motor menjadi tidak terkendali jika encoder tidak memberikan umpan balik.
3. Beban berlebih dalam waktu yang lama dapat merusak motor.

Motor servo pada umumnya terdiri dari dua jenis yaitu servo *continuous* dan servo standar. Servo *continuous* dapat berputar 360 derajat, sedangkan motor servo tipe standar hanya mampu berputar 180 derajat. Motor Servo harus memiliki kemampuan yang baik ketika dihadapkan dalam mengatasi perubahan yang sangat cepat baik dalam hal posisi, kecepatan dan akselerasi. Putaran motor tidak tergantung pada besarnya suplai tegangan ke motor, akan tetapi seberapa besar sinyal inputan (PWM) yang diberikan.



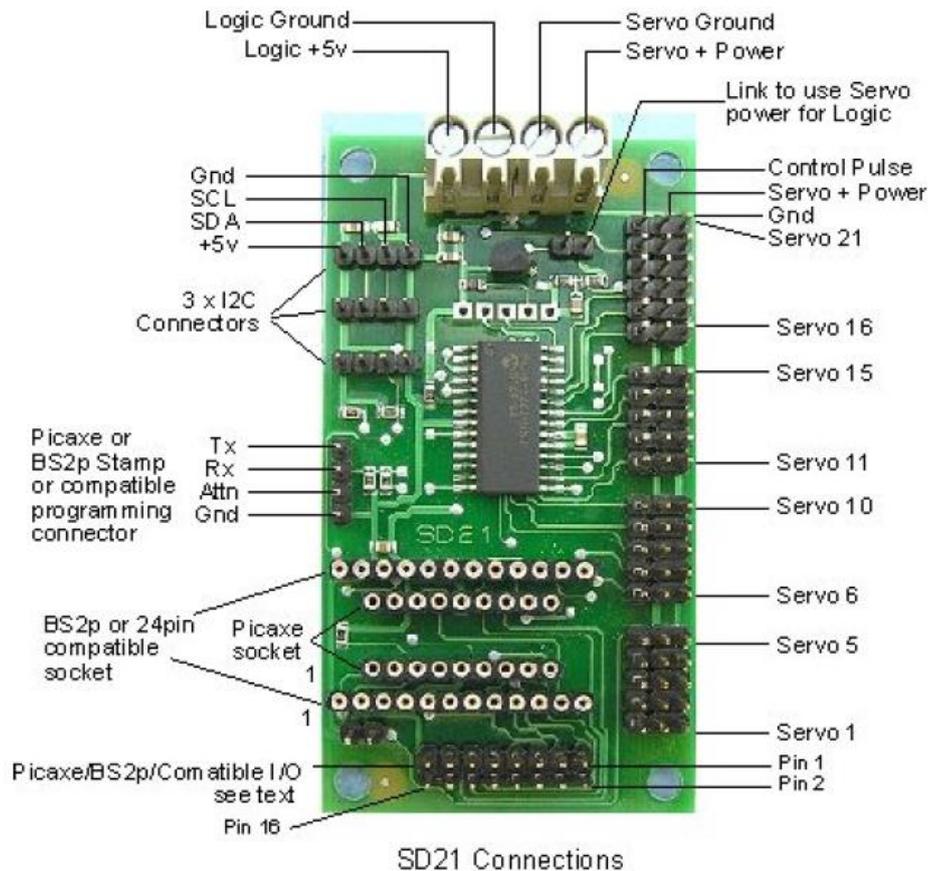
Gambar 2. 11 Sinyal PWM Motor Servo

(Sumber: <https://fit.labs.telkomuniversity.ac.id/mengenal-motor-servo/> diakses tanggal 10 Juli 2020)

Setelah diberikan sinyal PWM, poros motor servo akan bergerak ke posisi yang dituju dan berhenti pada posisi tersebut dan bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka sistem closed loop dari motor servo tersebut akan bekerja dengan mencoba menahan atau melawan kekuatan eksternal tersebut dengan kekuatan internal dari motor servo itu sendiri.

2.4 Driver Servo

Modul SD21 adalah modul *servo controller* yang dapat mengontrol sebanyak 21 motor servo secara bersamaan. Modul ini dapat menampung hingga 21 RC servo dan mempertahankan 20ms *refresh rate*, terlepas dari jumlah servo yang digunakan atau posisi mereka (pulsa lebar). Ini akan mengontrol kedua posisi dan kecepatan servo. Ini dikendalikan dengan mengirimkan perintah ke PIC18F2220 melalui bus I2C. Ada 3 konektor I2C di papan, salah satu dari tiga tersebut dapat digunakan untuk terhubung ke microcontroller atau pengendali lainnya seperti Picaxe, BS2p, Atom, BX-24 dll.



Gambar 2. 12 Pin Koneksi Driver Servo SD21
(Sumber: Datasheet Driver Servo SD21)

Terdapat dua cara untuk memberi daya pada driver servo 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. Adapun 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 satunya adalah arduino. Ada tiga register internal yang di Control oleh SD21 untuk masing – masing 21 servo yaitu kecepatan, byte rendah, dan byte tinggi.

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu chip *integrated circuit* yang dapat mengolah sinyal input yang diterima dan kemudian memberikan sinyal output yang sesuai dengan program yang didownload. Sinyal input mikrokontroler dapat berupa sensor dengan kontak langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan sedangkan

sinyal output ditujukan kepada aktuator yang dapat memberikan efek ke lingkungan. Secara sederhana, peran mikrokontroler dapat diibaratkan sebagai otak dari suatu perangkat yang mampu berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya.

Mikrokontroler tersusun dalam satu *chip* dimana prosesor, memori, dan I/O terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem sehingga mikrokontroler dapat dikatakan sebagai komputer mini yang dapat bekerja secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem. (Elektronika Dasar, 2010)

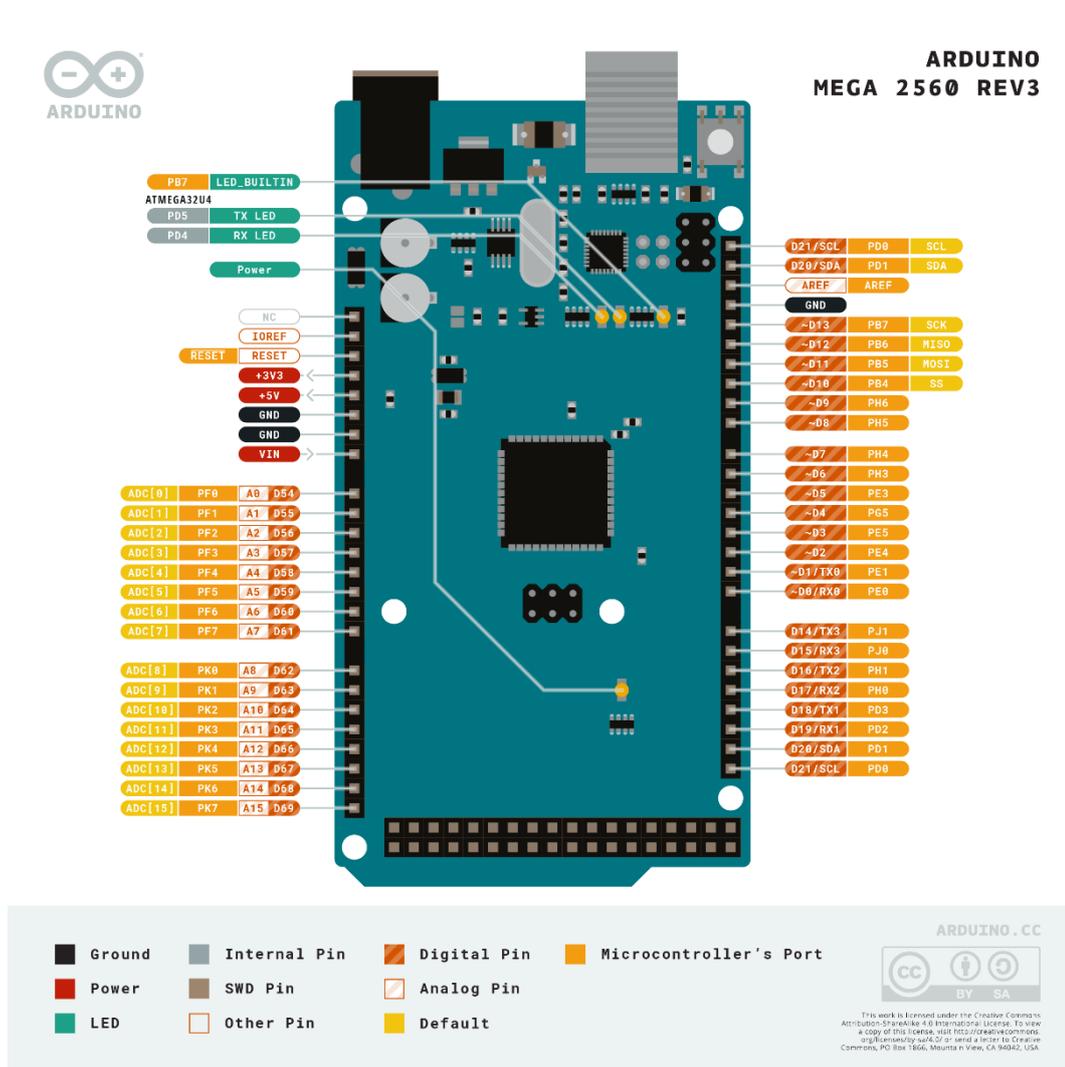
2.5.1 Arduino Mega2560

Arduino adalah sebuah papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama berupa mikrokontroler AVR yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Seperti namanya, Arduino Mega 2560 adalah papan rangkaian elektronik yang menggunakan ATmega2560 sebagai mikrokontrollernya. Papan ini memiliki semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler, yaitu 54 pin input/output digital, 16 input analog, 4 UART, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Untuk *supply power* cukup dihubungkan dengan PC melalui kabel USB atau dihubungkan dengan adaptor AC-ke-DC maupun baterai. Untuk spesifikasi lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Arduino Mega2560

Mikrokontroler	ATMega2560
Tegangan Operasional	5 V
Tegangan Input (rekomendasi)	7-12 V
Tegangan Input (maksimal)	6-20 V
Pin Digital I/O	54
Pin Analog Input	16
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256KB
SRAM	8KB

EEPROM	4KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Panjang	101.52 mm
Lebar	53.3 mm
Berat	37 g



Gambar 2. 13 Pin Diagram Arduino Mega2560
(Sumber: Datasheet Arduino Mega2560)

Terdapat 54 pin digital pada Arduino Mega2560 yang dapat digunakan sebagai input atau output dan 16 pin analog berlabel A0 sampai A15 sebagai ADC.

Setiap pin analog memiliki resolusi sebesar 10bit. Arduino Mega2560 dilengkapi pin dengan fungsi khusus, sebagai berikut:

1. Serial 4 buah yaitu *port serial* : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX); *port serial 1* : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX); *port serial 2*: pin 17 (RX) dan pin 16 (TX); *port serial 3*: pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). Pin Rx di gunakan untuk menerima data serial TTL dan pin (Tx) untuk mengirim data serial TTL.
2. *External Interrupts* 6 buah yaitu pin 2 (*Interrupt 0*), pin 3 (*Interrupt 1*), pin 18 (*Interrupt 5*), pin 19 (*Interrupt 4*), pin 20 (*Interrupt 3*) dan pin 21 (*Interrupt 2*).
3. PWM 15 buah yaitu 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 dan 44, 45, 46 pin-pin tersebut dapat di gunakan sebagai output PWM 8 bit.
4. SPI yaitu pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), pin 53 (SS), digunakan untuk komunikasi SPI menggunakan *SPI Library*
5. I2C: pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL), adapun komunikasi I2C menggunakan *wire library*.
6. LED: 13 *buit-in* LED yang terhubung dengan pin digital 13.

2.6 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.

2.7 Fuzzy Logic

Fuzzy logic merupakan jenis logika multi nilai, yang berkaitan dengan perkiraan alasan yang belum tentu tepat. Logika *fuzzy* membutuhkan manusia untuk mengimplementasikan suatu sistem untuk melakukan sistem kontrol yang cerdas dan kompleks. *Fuzzy logic* digunakan untuk menerjemahkan suatu besaran yang dinyatakan dengan menggunakan *linguistic* (ilmu bahasa). Contohnya yaitu dengan besaran kecepatan suatu kendaraan yang dinyatakan dengan berhenti, lambat, sedang dan cepat. Dalam hal ini *fuzzy logic* menunjukkan sejauh mana suatu nilai dapat dikatakan benar atau salah. Tidak seperti logika klasik atau tegas yang hanya mempunyai dua kemungkinan cepat atau lambat, *fuzzy logic* mempunyai kemungkinan yang lebih banyak. Oleh sebab itu *fuzzy logic* dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah dalam waktu yang bersamaan.

Suatu sistem berbasis aturan *fuzzy* yang lengkap terdiri dari tiga komponen utama: *fuzzification*, *inference*, dan *defuzzification*. *Fuzzification* mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (*crisp input*) kedalam bentuk *fuzzy input*, yang berupa nilai linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan tertentu misalnya, suhu 20°C dikonversi menjadi Hangat dengan derajat keanggotaan sama dengan 0,7. *Inference* melakukan penalaran menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output* misalnya, IF *antecedent* THEN *consequent*. Sedangkan, *Defuzzification* mengubah *fuzzy output* menjadi *crisp value* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan.