

**MODUL PRAKTIKUM SISTEM INSTRUMENTASI
(TKF213212)**



Dosen Pengampu: Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D., IPU.

**DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2024

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya modul praktikum Sistem Instrumentasi. Sesuai dengan motto kami yaitu “Tiada Hari Tanpa Peningkatan Mutu”, maka buku ini adalah suatu realisasi untuk terus berusaha meningkatkan mutu praktikum.

Struktur dari buku ini diharapkan memenuhi standar dari sebuah buku petunjuk praktikum dengan bagian pada setiap BAB-nya terdapat: tujuan, materi, teori, alat dan bahan, prosedur praktikum, percobaan dan latihan. Untuk peserta praktikum diharapkan sudah membaca seluruh bagian dari buku petunjuk praktikum ini sebelum praktikum dimulai dan melakukan praktikum sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.

Instruktur praktikum mempunyai tugas memberikan arahan tentang pelaksanaan praktikum sekaligus memberikan bimbingan dalam penyelesaian setiap percobaan maupun latihan.

Demikian kata pengantar ini yang mencoba memberikan sedikit arahan tentang tujuan dibuatnya buku petunjuk praktikum ini. Selanjutnya untuk masa yang mendatang akan terus dikembangkan kualitasnya, baik dari segi substansi maupun metode penyusunan dan penyampaiannya. Akhir kata tiada gading yang tak retak, dan demi peningkatan kualitas dari buku petunjuk praktikum ini, kami selalu mengharapkan saran dan kritik membangun dari para pembaca.

Yogyakarta, 23 Maret 2022

Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D., IPU

RENCANA PROGRAM DAN KEGIATAN PEMBELAJARAN SEMESTER (RPKPS)

Kode Mata Kuliah	Nama Mata Kuliah	Bobot (SKS)	Semester	Status Mata Kuliah	Mata Kuliah Prasyarat
TKF213212.	Praktikum Sistem Instrumentasi	1	Genap	Wajib	Pernah/sedang mengambil matakuliah Teknologi Sensor dan Teknologi Aktuator
Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) yang dibebankan pada MK	CPL 3. Kemampuan mendesain dan melaksanakan eksperimen laboratorium dan/atau lapangan serta menganalisis dan mengartikan data untuk memperkuat penilaian teknik. CPL 4. Kemampuan mengidentifikasi, merumuskan, menganalisis dan menyelesaikan permasalahan teknik. CPL 5. Kemampuan menerapkan metode, keterampilan dan piranti teknik yang modern yang diperlukan untuk praktik keteknikan.				
Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)	CPMK 1	melakukan eksperimen untuk mengetahui prinsip-prinsip kerja beberapa tipe sensor, pengendali dan aktuator sebelum digunakan.			
	CPMK 2	mengimplementasikan sensor, pengendali dan aktuator dalam suatu sistem instrumentasi untuk memecahkan suatu masalah.			
	CPMK 3	membuat suatu modul sistem instrumentasi dari hasil implementasi tersebut.			
	CPMK 4	melakukan uji dan/atau simulasi modul sistem instrumentasi yang telah dibuat			

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	2
RENCANA PROGRAM DAN KEGIATAN PEMBELAJARAN SEMESTER (RPKPS)	3
Daftar Isi.....	4
Daftar Gambar.....	6
Daftar Tabel.....	10
I. Latar Belakang dan Tujuan Praktikum	12
Tujuan.....	12
II. Praktikum Prasyarat	12
III. Dasar Teori.....	13
1. Sensor, Transduser, dan Detektor	13
2. Prosesor dan Kontroler.....	14
3. Aktuator.....	15
4. SRF05	15
5. Sharp GP2D12.....	18
6. FSR.....	20
7. <i>Load Cell</i>	24
8. HX711	26
9. <i>Piezoelectric</i>	28
10. MPU6050.....	30
11. <i>Condenser</i>	35
12. TGS822	39
13. MQ6.....	41
14. MH-Z19.....	43
15. LM35.....	47
16. DHT22.....	49
17. DS18B20	51
18. <i>Thermocouple tipe K</i>	51
19. MAX6675	52
20. SHT20	53
21. LDR.....	54

22.	<i>Photodiode</i>	57
23.	PIR.....	59
24.	BH1750.....	62
25.	UVM.....	62
26.	Motor DC.....	65
27.	<i>Buzzer</i>	68
28.	<i>Motor Servo</i>	71
29.	<i>Relay</i>	77
30.	<i>Motor Stepper</i>	80
31.	Arduino.....	101
32.	PsoC.....	102
IV.	Percobaan	105
A.	Modul PSI-01: Sistem Akuisisi Data Jarak.....	105
B.	Modul PSI-02: Sistem Akuisisi Data Massa Objek.....	111
C.	Modul PSI-03: Sistem Akuisisi Data Audio & Getaran	120
D.	Modul PSI-04: Sistem Akuisisi Data Kadar Gas	127
E.	Modul PSI-05: Sistem Akuisisi Data Suhu & Kelembaban.....	131
F.	Modul PSI-06: Sistem Akuisisi Data Gelombang Cahaya	135
G.	Modul PSI-07: Sistem Aktuator: Motor DC, <i>Buzzer</i> , & <i>Relay</i>	141
H.	Modul PSI-08: Sistem Aktuator: Motor Servo & Motor <i>Stepper</i>	151
I.	Modul PSI-09: Studi Kasus Sistem Instrumentasi: Analog	160
J.	Modul PSI-10: Studi Kasus Sistem Instrumentasi: Digital	160
Daftar Pustaka	161	

Daftar Gambar

Gambar 3.1. SRF05.....	16
Gambar 3.2. Beam angle SRF05	17
Gambar 3.3. Skema pin SRF05	18
Gambar 3.4. Timing diagram SRF05.....	18
Gambar 3.5. Diagram blok sensor Sharp GP2D12.....	19
Gambar 3.6. Pin-out sensor Sharp GP2D12	20
Gambar 3.7. Sensor FSR [1].....	21
Gambar 3.8. Bagian-bagian penyusun FSR [1].	22
Gambar 3.9. Penampang membujur FSR saat ditekan gaya sebesar F.	22
Gambar 3.10. Skema FSR [1].....	23
Gambar 3.11. Sensor load cell [6].	24
Gambar 3.12. Rangkaian jembatan Wheatstone [7].....	25
Gambar 3.13. Modul HX711.....	27
Gambar 3.14. Penamaan kaki IC HX711.....	27
Gambar 3.15. Sensor piezoelektrik.	28
Gambar 3.16. Efek piezoelektrik pada kuarsa (SiO ₂).	29
Gambar 3.17. Pin-out sistem sensor piezoelektrik.....	30
Gambar 3.18. Nilai luaran akselerometer yang dipengaruhi oleh arah gravitasi.....	31
Gambar 3.19. Pinout modul MPU-6050.....	32
Gambar 3.20. Giroskop MEMS linier.....	33
Gambar 3.21. MPU6050.....	35
Gambar 3.22. Desain skematik mikrofon kondenser.	37
Gambar 3.23. Bentuk fisik mikrofon kondenser.	38
Gambar 3.24. Konfigurasi pin kaki mikrofon kondenser.....	39
Gambar 3.25. Diagram skematik penggunaan mikrofon kondenser.....	39
Gambar 3.26. Prinsip Kerja Sensor Gas MOS-Type.	40

Gambar 3.27. Sensor TGS 822.....	40
Gambar 3.28. Rangkaian sensor TGS 822.....	41
Gambar 3.29. Sensor MQ-6.....	42
Gambar 3.30. Rangkaian sensor MQ-6	42
Gambar 3.31. Cara kerja NDIR.	43
Gambar 3.32. Sensor MH-Z19.....	44
Gambar 3.33. Konfigurasi pin sensor MH-Z19	45
Gambar 3.34. Keluaran PMW MH-Z19.....	46
Gambar 3.35. Byte data output UART MH-Z19.....	47
Gambar 3.36. Tampak depan dan bawah LM35	48
Gambar 3.37. Sensor DHT22	49
Gambar 3.38. Thermocouple Tipe K.	52
Gambar 3.39. Sensor MAX6675	53
Gambar 3.40. Kurva disipasi energi dari LDR.	56
Gambar 3.41. Respons frekuensi dari LDR.	56
Gambar 3.42. Kurva hubungan antara resistansi LDR dengan intensitas cahaya.	57
Gambar 3.43. Sensor PIR.....	59
Gambar 3.44. Skema pin sensor PIR dan penjelasannya	61
Gambar 3.45. Kurva respons sensor UV.....	64
Gambar 3.46. UV index.....	64
Gambar 3.47. Motor DC.....	65
Gambar 3.48. Kurva torsi motor DC RF-300FA.....	67
Gambar 3.49. Gambar teknik dari motor DC RF-300FA.....	68
Gambar 3.50. Buzzer.....	68
Gambar 3.51. Diagram blok sound measuring method dari buzzer.	69
Gambar 3.52. Karakteristik frekuensi tekanan bunyi buzzer.	70
Gambar 3.53. Gambar teknik dari buzzer.	70
Gambar 3.54. Diagram kalang tertutup	71
Gambar 3.55. Bagian-bagian motor servo	72

Gambar 3.56. Fungsi PWM pada motor servo	73
Gambar 3.57. Rentang peforma motor servo: a. motor BLDC, b. motor DC; 25%, 40%: siklus faktor durasi.....	74
Gambar 3.58. Blok diagram rangkaian kendali untuk motor servo	75
Gambar 3.59. Wiring diagram motor servo tipe SG90 9g dan tipe MGS90s.....	76
Gambar 3.60. Duty cycle terhadap periode PWM	77
Gambar 3.61. Duty cycle terhadap periode PWM	77
Gambar 3. 62. Bentuk dan simbol Relay[35].....	78
Gambar 3. 63. Struktur Relay[35]	79
Gambar 3. 64. Model karakteristik relay[37]	80
Gambar 3.65. Konstruksi motor stepper (Sumber: electricaltechnology.org).....	81
Gambar 3.66. Konstruksi motor stepper jenis variable reluctance.....	82
Gambar 3.67. Prinsip kerja motor stepper jenis variable reluctance.....	83
Gambar 3.68. Konstruksi motor stepper jenis permanen magnet	84
Gambar 3.69. Konstruksi motor stepper jenis hybrid yang telah disederhanakan.	85
Gambar 3.70. Struktur motor stepper jenis hybrid.....	86
Gambar 3.71. Pengendali motor stepper sederhana 1.....	87
Gambar 3.72. Rangkaian dasar pengendali motor stepper.	88
Gambar 3.73. Pengendalian motor stepper menggunakan metode wave mode.....	89
Gambar 3.74. Cara kerja pengendali motor stepper metode full step	90
Gambar 3.75. Pengendali motor stepper menggunakan metode half wave.	91
Gambar 3.76. Cara kerja pengendali motor stepper metode microstepping	93
Gambar 3.77. Motor Stepper tipe 28BYJ-48 [43].....	94
Gambar 3.78. Gear Ratio Motor Stepper Unipolar Tipe 28BYJ-48.....	95
Gambar 3.79. Wiring Motor Stepper Unipolar 28BYJ-48 [33].....	95
Gambar 3.80. Rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe unipolar	97
Gambar 3.81. Konfigurasi kabel motor stepper tipe bipolar	99
Gambar 3.82. Rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe bipolar.	100
Gambar 3.83. Hubungan torsi terhadap rotasi per menit motor stepper tipe bipolar.....	101

Gambar 3.84. Diagram blok PSoC	103
Gambar 4.1. Diagram Alir SRF05	108
Gambar 4.2. Diagram Alir Sharp GP2D12.....	109
Gambar 4.3. Rangkaian percobaan 1 dan 2	112
Gambar 4. 4. Diagram alir program percobaan 1	113
Gambar 4. 5. Skema rangkaian load cell + HX711 pada Arduino	114
Gambar 4. 6. Rangkaian load cell + HX711 dengan Raspberry Pi.....	115
Gambar 4.7. Rangkaian sensor piezoelektrik.....	121
Gambar 4.8. Rangkaian sensor MPU6050.....	121
Gambar 4.9. Rangkaian sensor kondenser.....	121
Gambar 4.10. Diagram alir sensor kondenser dan piezoelektrik.....	124
Gambar 4.11. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan PSoC dan Arduino	125
Gambar 4.12. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan Raspberry Pi.....	126
Gambar 4. 13. Rangkaian percobaan photodioda dengan Arduino	137
Gambar 4.14. Rangkaian analog pengendali buzzer.....	142
Gambar 4.15. Rangkaian pengendali buzzer dengan Arduino	143
Gambar 4.16. Diagram alir percobaan 2	144
Gambar 4.17. Rangkaian analog pengendali motor DC	145
Gambar 4.18. Rangkaian pengendali motor DC dengan Arduino	146
Gambar 4.19. Algoritma program Arduino pada percobaan 4	147
Gambar 4.20. Rangkaian pengendali motor DC dengan PSoC.....	148
Gambar 4.21. Algoritma program PSoC pada percobaan 4	149
Gambar 4.22. Rangkaian Percobaan 1	152
Gambar 4.23. Rangkaian percobaan 2	154
Gambar 4.24. Rangkaian percobaan 3	157

Daftar Tabel

Tabel 3.1. Karakteristik sensor FSR406 [1]	22
Tabel 3.2. Karakteristik sensor load cell [6].....	26
Tabel 3.3. Karakteristik sensor MPU-6050	31
Tabel 3.4. Full-Scale Range (FSR) atau rentang keluaran sensor.....	34
Tabel 3.5. Sensitivitas sensor.	34
Tabel 3.6. Spesifikasi mikrofon kondenser.....	38
Tabel 3.7. Karakteristik Sensor TGS 822.....	40
Tabel 3.8. Karakteristik Sensor MQ-6.....	42
Tabel 3.9. Karakteristik Sensor MH-Z19	44
Tabel 3.10. Karakteristik sensor LM35	48
Tabel 3.11. Karakteristik sensor DHT22.....	50
Tabel 3.12. Karakteristik sensor DS18B20.....	51
Tabel 3.13. Karakteristik sensor SHT20	54
Tabel 3.14. Karakteristik photodiode.....	58
Tabel 3.15. Karakteristik motor DC RF-300FA.....	66
Tabel 3.16. Karakteristik buzzer.	69
Tabel 3.17. Perbandingan pengendali servo yang menggunakan hidraulik dan elektrik.	73
Tabel 3.18. Perbandingan antara motor servo dc dan tiga fase.	74
Tabel 3.19. Perbandingan motor BLDC dan AC.....	75
Tabel 3.20. Karakteristik motor servo tipe SG90 9g.....	76
Tabel 3.21. Karakteristik motor servo tipe MGS90s.....	77
Tabel 3.22. Contoh masukan metode full step.	90
Tabel 3.23. Masukan Digital Metode Half Wave.....	92
Tabel 3.24. Karakteristik Motor Stepper Unipolar Tipe 28BYJ48 [44], [45].....	93
Tabel 3.25. Hubungan pemberian energi pada setiap kabel terhadap step yang terjadi pada motor.	96
Tabel 3.26. Karakteristik motor stepper jenis bipolar.....	98
Tabel 3.27. Warna dan konfigurasi kabel motor stepper jenis bipolar	99

Tabel 3.28. Spesifikasi Arduino UNO.....	102
Tabel 3.29. Spesifikasi Raspberry Pi 3B.....	104
Tabel 4.1. Alat dan bahan Modul PSI-01	105
Tabel 4.2. Tabel Hasil Percobaan 1	109
Tabel 4.3. Tabel Hasil Percobaan 2	109
Tabel 4.4. Alat dan bahan Modul PSI-02	111
Tabel 4. 5. Tabel pengamatan untuk percobaan 1.....	115
Tabel 4. 6. Tabel pengamatan untuk percobaan 2.....	117
Tabel 4. 7. Tabel pengamatan untuk percobaan 3.....	118
Tabel 4. 8. Tabel pengamatan untuk percobaan 4.....	118
Tabel 4.9. Alat dan bahan Modul PSI-03	120
Tabel 4.10. Hasil percobaan 1	123
Tabel 4.11. Hasil percobaan 2	123
Tabel 4.12. Hasil percobaan 3	123
Tabel 4.13. Alat dan bahan Modul PSI-04.....	127
Tabel 4. 14. Tabel pengamatan percobaan modul PSI-04.....	129
Tabel 4.15. Alat dan bahan Modul PSI-05	131
Tabel 4. 16. Tabel pengamatan percobaan 1.....	134
Tabel 4. 17. Tabel pengamatan percobaan 2 (suhu)	134
Tabel 4. 18. Tabel pengamatan percobaan 2 (kelembapan)	134
Tabel 4.19. Alat dan bahan Modul PSI-06	135
Tabel 4.20. Alat dan bahan Modul PSI-07	141
Tabel 4.21. Alat dan bahan Modul PSI-08	151
Tabel 4.22. Hasil percobaan 1	153
Tabel 4.23. Hasil percobaan 2	156
Tabel 4.24. Hasil percobaan 3	159

I. Latar Belakang dan Tujuan Praktikum

Matakuliah praktikum ini membekali mahasiswa dengan kemampuan untuk memahami berbagai macam sensor, prinsip transduksi, sensor, pengendali, aktuator dan karakteristiknya. Selanjutnya mahasiswa akan dibekali kemampuan agar mampu melakukan pengukuran dan menganalisis hasil pengukuran berbagai besaran fisis dengan menggunakan alat ukur yang tepat.

Tujuan

1. Mahasiswa mampu melakukan eksperimen untuk mengetahui prinsip-prinsip kerja beberapa tipe sensor, pengendali dan aktuator sebelum digunakan.
2. Mahasiswa mampu mengimplementasikan sensor, pengendali dan aktuator dalam suatu sistem instrumentasi untuk memecahkan suatu masalah.
3. Mahasiswa mampu membuat suatu modul sistem instrumentasi dari hasil implementasi tersebut.
4. Mahasiswa mampu melakukan uji dan/atau simulasi modul sistem instrumentasi yang telah dibuat

II. Praktikum Prasyarat

- A. Praktikum Elektronika Analog: *Voltage Divider*, Dioda, BJT, MOSFET, dan Op-Amp.
- B. Praktikum Dasar Informatika: Kalang Logika dan Pengulangan, Fungsi, *List*, *Array*, *Dictionary*, Pengelola Berkas, dan *Object Oriented Programming*.
- C. Praktikum Sistem Pengukuran: Linearitas Alat Ukur, Respon Dinamis Alat Ukur, Sensitivitas Alat Ukur, dan Kalibrasi Alat Ukur.
- D. Praktikum Elektronika Digital: Gerbang Logika, *Flip-flop*, *Multiplexer*, *Counter & Timer*, dan ADC & DAC.
- E. Praktikum Jaringan Komunikasi: Protokol Komunikasi berbasis Kabel (I2C, SPI, & UART), Protokol Komunikasi berbasis Nirkabel (HTTP, MQTT, WebSocket), Modulasi, dan Demodulasi.

III. Dasar Teori

1. Sensor, Transduser, dan Detektor

A. Sensor

Sensor adalah piranti yang menerima stimulus dan merespon dengan sinyal listrik. Stimulus sendiri adalah besaran, sifat, atau kondisi yang diterima dan diubah menjadi sinyal listrik. Contoh stimulus antara lain adalah: jarak, gaya, getaran, suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan panjang gelombang cahaya. Sinyal listrik sendiri adalah sinyal yang bisa diteruskan (*channeled*), dikuatkan (*amplified*), dan diubah (*modified*) oleh perangkat listrik. Sinyal listrik lazimnya berupa tegangan, arus, dan muatan, namun memungkinkan juga berupa amplitudo, polaritas, frekuensi, fase, bahkan kode digital.[1]

B. Transduser

Secara sederhana, transduser adalah pengubah bentuk energi atau sifat satu ke bentuk energi atau sifat yang lain. Tidak seperti sensor yang hanya mengubah satu bentuk energi atau sifat ke suatu sinyal listrik. Contoh transduser misalnya adalah *loudspeaker*, ia mengubah sinyal listrik menjadi medan magnet, lalu kemudian menjadi gelombang akustik. Transduser juga dapat digunakan sebagai aktuator pada berbagai sistem instrumentasi.[1]

C. Detektor

Detektor bermakna sama dengan sensor dan penggunaannya dapat ditukar-tukar, namun detektor lebih lazim digunakan untuk piranti yang melakukan pengukuran secara kualitatif, alih-alih kuantitatif. Contohnya, suatu detektor PIR (*passive infrared*) hanya akan memberikan luaran sinyal HIGH atau LOW, alih-alih mengeluarkan sinyal listrik yang dapat diubah menjadi jarak benda dari detektor PIR.

2. Prosesor dan Kontroler

A. Prosesor

Prosesor merupakan perangkat keras pengolah data atau otak dari sebuah sistem. Secara umum prosesor dapat ditemukan pada komputer dan juga laptop, akan tetapi secara lebih luas prosesor dapat ditemukan pada hampir semua perangkat elektronik. Hal ini dikarenakan fungsi prosesor yang merupakan pengolah data dan perintah dari sebuah perangkat sistem. Contoh paling sederhana dari sebuah prosesor adalah yang terdapat pada kalkulator yang menerima masukan berupa angka dan mengolahnya sesuai dengan perintah yang diberikan apakah penjumlahan, pengurangan, perkalian, atau pembagian, bahkan dewasa ini juga sudah terdapat kalkulator yang dapat mengolah fungsi-fungsi matematika yang lebih kompleks.[2]

Secara umum prosesor terdiri dari 3 komponen:

1. *Control Unit*

Pengatur alur data dan perintah yang ada di dalam komputer seperti *input* dan *output*, sehingga perintah dapat diterima dan dieksekusi tanpa adanya tumpang tindih dan berjalan secara teratur.

2. *Arithmetics Logical Unit*

Komponen yang melakukan perhitungan aritmatika sesuai perintah yang diperoleh. Perhitungan digunakan agar sistem dapat membaca instruksi dengan benar. Di dalam komponen ini, segala perintah diolah dan menjadi komponen penting dari sebuah prosesor.

3. *Register Unit*

Komponen ini berfungsi untuk menyimpan data-data yang telah diolah oleh Control Unit dan Arithmetics Logical Unit. Data yang tersimpan pada Register Unit ini dapat dipanggil maupun diolah kembali sesuai dengan kebutuhan sistem.[2]

B. Kontroler

Kontroler merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan perhitungan yang dibutuhkan untuk mengontrol sistem berdasarkan perbandingan sinyal umpan balik dari proses sistem dan sinyal referensi yang ditetapkan untuk sistem yang diinginkan.[3]

3. Aktuator

Aktuator adalah elemen fungsional yang menghubungkan bagian pengolahan informasi dari sistem kendali elektronik dengan suatu proses. Aktuator dapat digunakan untuk mengendalikan aliran energi, massa, atau volume. Pengendalian aktuator selalu dilakukan menggunakan sinyal listrik yang sangat lemah, idealnya, sinyal tersebut dapat pula mengendalikan perangkat mikroelektronik.[4]

Aktuator terdiri dari minimal 1 komponen *energy controller* dan *energy converter*. Aktuator mendapatkan kemampuan mengendalikan aliran energi, massa, atau volume karena mendapat suplai dari sumber energi. Suplai dari sumber energi inilah yang dikendalikan oleh elemen *energy controller*, berdasarkan sinyal kendali yang diterima. Sedangkan, cara mengendalikan aliran energi, massa, atau volume ini ditentukan oleh *energy converter*. Pada motor listrik misalnya, *energy converter* akan mengubah energi listrik yang disuplai dari sumber energi menjadi energi kinetik gerakan motor.

4. SRF05

A. Fenomena Fisis

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz, dimana frekuensi gelombang ini berada di luar rentang frekuensi pendengaran telinga manusia normal yang berada di kisaran 20 Hz-20 kHz. Gelombang ultrasonik juga mampu melakukan perambatan pada medium padat, cair, maupun gas. Kecepatan gelombang ultrasonik dapat diasumsikan sama dengan kecepatan bunyi.



Gambar 3.1. SRF05.

SRF05 terdiri dari dua bagian, rangkaian pemancar gelombang ultrasonik dan rangkaian penerima gelombang ultrasonik. Rangkaian pemancar gelombang ultrasonik disusun oleh chip piezoelectric dan pemancar suara (speaker), sedangkan rangkaian penerima gelombang ultrasonik terdapat microphone ultrasonic. Piezoelectric merespon tegangan pulsa yang diberikan dengan kontraksi dan relaksasi yang kemudian diteruskan ke diafragma penggetar untuk mentransmisi 8 siklus ultrasonik 40 kHz. Oleh karena itu SRF05 dapat memancarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi dalam bentuk pulsa.[5]

Gelombang ultrasonik yang dipancarkan akan terpantul kembali jika terdapat obyek padat yang menghalangi jalur transmisinya. Gelombang ultrasonik yang terpantul akan tertangkap oleh receiver gelombang ultrasonik. Lebar pulsa modulasi antara gelombang transmisi dan gelombang pantul merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang untuk merambat dari sensor ke objek dan objek kembali ke sensor. Waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor ke objek, oleh karena itu jarak dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$s = \frac{(\nu \times t)}{2}$$

Dimana

jarak sensor ke objek (m)

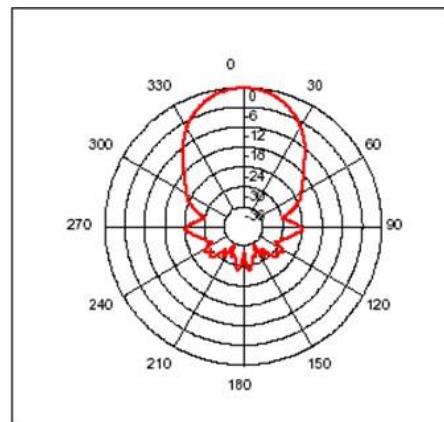
cepat rambat gelombang di dalam medium (m/s)

waktu tempuh gelombang (s)

B. Karakteristik

SRF05 memiliki beberapa informasi yang perlu diperhatikan antara lain sebagai berikut.

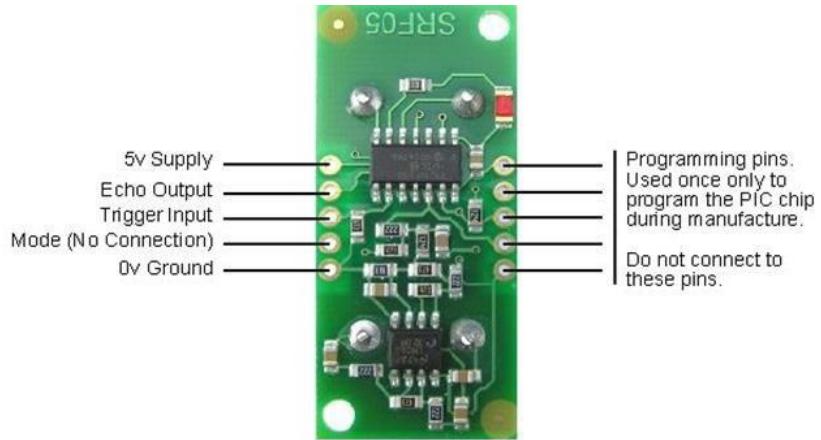
- Format Trigger Pin : pulsa digital
- Frekuensi gelombang : 40 kHz
- Echo Pin Output : 0-Vcc
- Format Echo Pin : Digital, time out 30ms
- Measurement Range : 2 cm - 450 cm
- Resolusi : 0,3 cm
- Supply Voltage : 4,5 – 5,5 V
- Supply Current : 10 – 40 mA[5]



Gambar 3.2. Beam angle SRF05.

C. Masukan dan Luaran

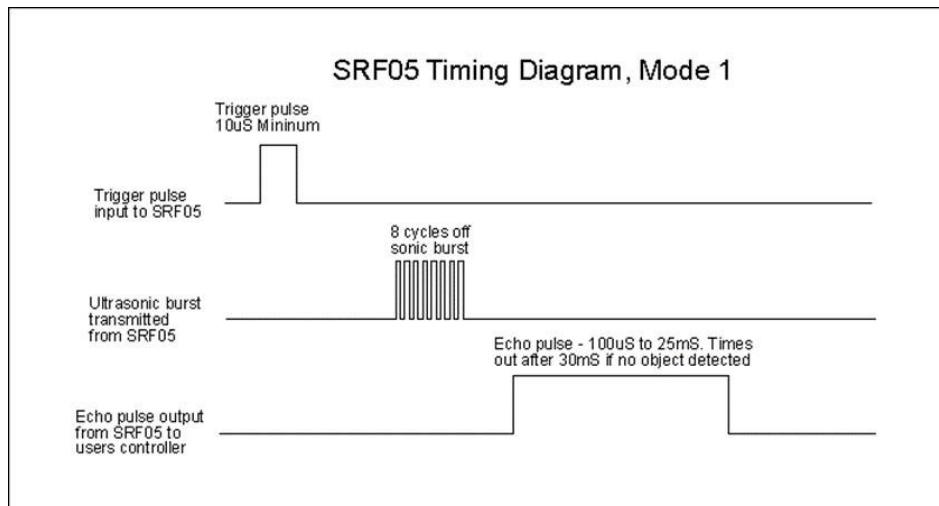
SRF05 terdapat 5 buah pin dengan skema seperti Gambar 3.3, trigger didefinisikan sebagai pin yang jika diberikan tegangan maka akan memberikan stimulant pada sensor agar bekerja, sedangkan echo didefinisikan sebagai pin dengan nilai pulsa sebanding dengan jarak dan waktu tempuh gelombang.



Connections for 2-pin Trigger/Echo Mode (SRF04 compatible)

Gambar 3.3. Skema pin SRF05.

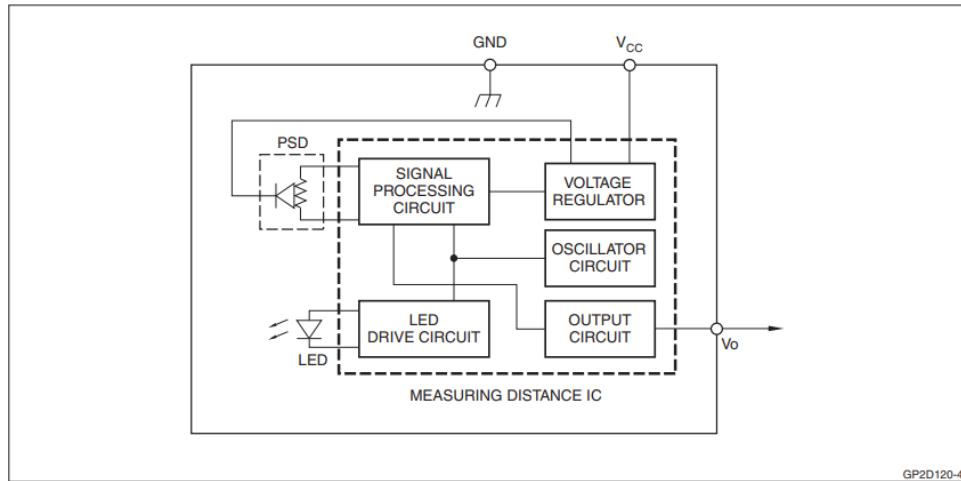
Hal yang perlu dilakukan adalah dengan memberikan pulsa digital pada pin Trigger, dan SRF05 akan mentransmisi 40 kHz gelombang. Pada pin Echo perhatikan pulsa yang ditunjukkan. Pada saat pin Echo menunjukkan pulsa low maka dapatkan waktu yang berlangsung selama pulsa Echo dalam kondisi High. Waktu ini merupakan data yang dapat dikonversi menjadi nilai jarak antara SRF05 dan objek.[5]



Gambar 3.4. Timing diagram SRF05.

5. Sharp GP2D12

A. Fenomena Fisis



Gambar 3.5. Diagram blok sensor Sharp GP2D12.

Modul Sharp GP2D12 bekerja dengan mula-mula menyalaikan LED yang ada di dalam modul. Kemudian, cahaya yang dipancarkan LED mengenai benda yang ingin diukur jaraknya dan dipantulkan oleh benda tersebut. Kemudian, terdapat cahaya yang akan mengenai PSD (*Position-Sensitive Detector*) yang berada di dalam modul. Di dalam PSD, terdapat sambungan p-n yang akan menghasilkan arus ketika disinari dengan cahaya yang dipancarkan oleh LED. Fenomena tersebut dinamakan efek foto-elektrik internal (*internal photoelectric effect*). Arus yang terjadi hanya dihasilkan ketika energi foton dari cahaya pantulan lebih besar dari selisih energi yang diperlukan *carrier* (elektron atau hole) untuk berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi. Arus inilah yang menjadi masukan ke dalam rangkaian listrik untuk luaran (*output circuit*) di dalam modul. *Output circuit* mengubah masukan arus menjadi tegangan. Pada akhirnya, luaran tegangan dari rangkaian listrik tersebut menjadi luaran dari modul.[6]

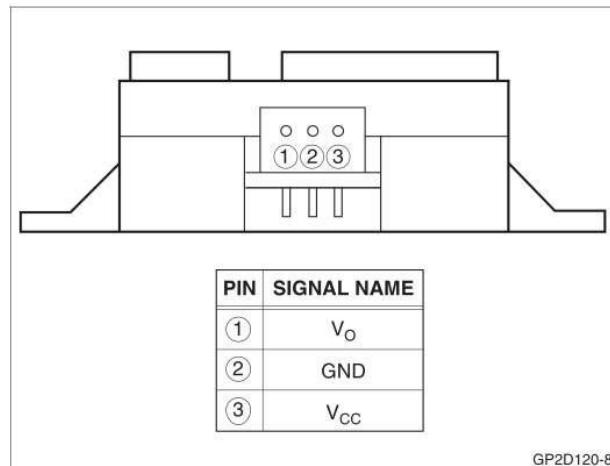
B. Karakteristik

Berikut adalah karakteristik sensor Sharp GP2D12:

- Tegangan Operasi (V_{cc}) : 4,5 – 5,5 V
- Tegangan Luaran (V_o) : -0,3 – V_{cc}+0,3 V

- Rerata Arus Operasi (I_{cc}) : 33 mA
- Rentang Pengukuran Jarak : 4 – 30 cm
- Rerata *response time* : 39 ms
- Rerata *time delay* : 44 ms[6]

C. Masukan dan Luaran

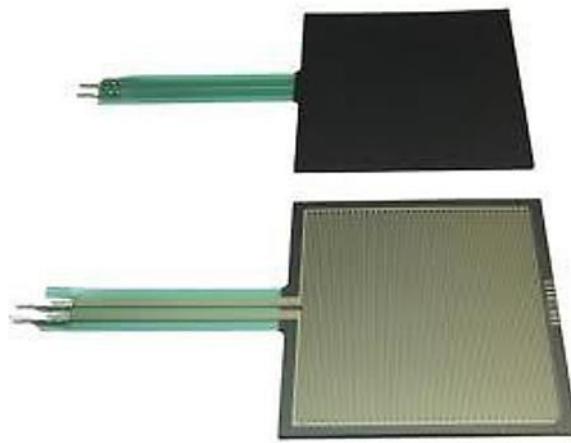


Gambar 3.6. Pin-out sensor Sharp GP2D12.

Sensor Sharp GP2D12 memiliki 3 pin sebagai masukan dan luaran, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.6. Pin 1 akan membawa data luaran sensor berupa tegangan. Pin 1 nantinya akan terhubung ke alat ukur atau kontroler. Pin 2 terhubung ke ground dan Pin 3 terhubung ke sumber tegangan. Secara fisis, seperti yang telah dijelaskan pada bagian fenomena fisis, sensor menerima masukan berupa jarak dan memberikan luaran berupa tegangan.

6. FSR

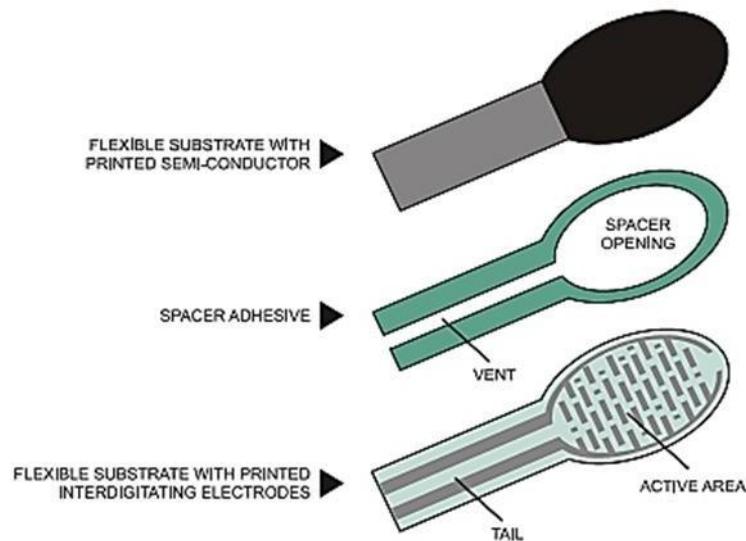
A. Fenomena Fisis



Gambar 3.7. Sensor FSR [1].

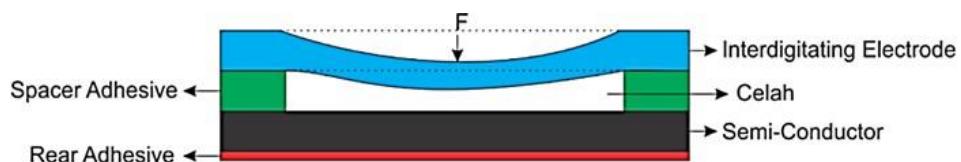
Sensor *Force Sensing Resistor* atau FSR merupakan suatu sensor yang dapat mengubah gaya tekan menjadi resistansi.[7] Sensor FSR ditunjukkan oleh Gambar 3.7. Sensor FSR memiliki keluaran berupa tegangan yang dihasilkan oleh resistor pengukur dalam konfigurasi pembagi tegangan. FSR terdiri dari tiga bagian utama, yaitu semikonduktor yang berbahan *polyurethane*, *interdigitized electrodes (active area)*, dan *spacer opening*.[8] Konstruksi dari FSR ditunjukkan oleh Gambar 3.8.

Interdigitating electrode atau *active area* merupakan bahan konduktor yang terhubung dengan sumber tegangan. *Active area* dibuat beruas-ruas dan tidak tersambung agar arus listrik tidak dapat mengalir, kecuali terdapat wilayah yang dapat menghubungkan tiap lapisan pada *active area*. Saat *active area* ditekan dengan gaya sebesar F , *active area* akan berdeformasi sehingga akan mendekati wilayah substrat semikonduktor.[9] Ilustrasi ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



Gambar 3.8. Bagian-bagian penyusun FSR [1].

Substrat semikonduktor tersusun dari bahan elastis polimer yang dicampur dengan partikel konduktif seperti *carbon black* sehingga substrat semikonduktor memiliki elektron bebas yang dapat berfungsi untuk menghasilkan arus listrik ketika dihubungkan dengan sumber tegangan.[10] Oleh karena itu, ketika *active area* menyentuh substrat semikonduktor, arus listrik dapat mengalir pada *interdigitating electrode*. Besar arus listrik yang dapat mengalir pada *active area* akan tergantung dari besar luas permukaan *active area* yang menyentuh substrat semikonduktor. Semakin besar gaya tekan pada *active area* mengakibatkan deformasi ruas-ruas *active area* semakin besar sehingga semakin luas wilayah *active area* yang terkena wilayah substrat semikonduktor. Hal tersebut dapat menyebabkan konduktivitas FSR akan semakin besar dan resistansi FSR akan semakin kecil.



Gambar 3.9. Penampang membujur FSR saat ditekan gaya sebesar F.

B. Karakteristik

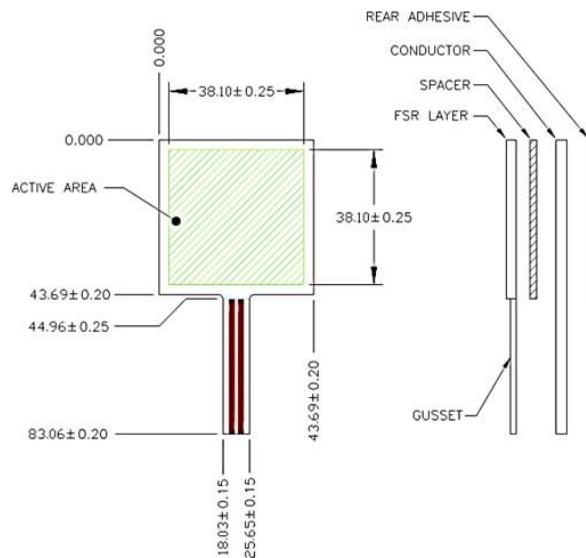
Karakteristik sensor FSR ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Karakteristik sensor FSR406 [1].

No.	Karakteristik	Nilai
1.	Gaya Aktuasi	0,1 N
2.	Rentang Sensitivitas Gaya	0,1 – 100 N
3.	<i>Force Repeatability</i> (Satu Bagian)	$\pm 2\%$
4.	Resolusi	Kontinu
5.	<i>Force Repeatability</i> (Bagian per Bagian)	$\pm 6\%$
6.	Resistansi Non-Aktuasi	10 MW
7.	Ukuran	$43,69 \times 43,69$ mm
8.	Rentang Ketebalan	0,2 – 1,25 mm
9.	Resistansi <i>Stand-Off</i>	>10 M Ω
10.	Rentang Temperatur Operasi	-30 – 70°C

C. Masukan dan Luaran

Sensor FSR terdapat 2 buah kaki dengan skema seperti Gambar 3.10. Kedua kaki tersebut bebas digunakan. Satu kaki bisa digunakan sebagai kaki masukan dan kaki lainnya dapat digunakan sebagai kaki keluaran dan sebaliknya. Masukan dan keluaran dari sensor FSR adalah analog.

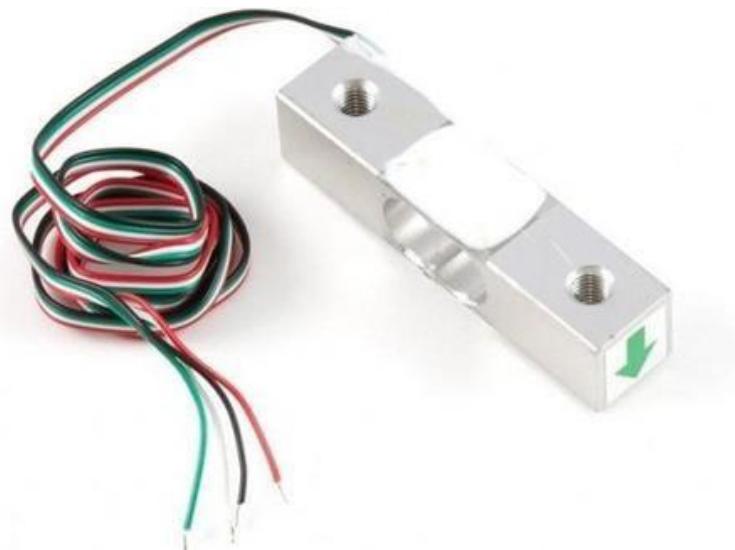


Gambar 3.10. Skema FSR [1].

7. Load Cell

A. Fenomena Fisis

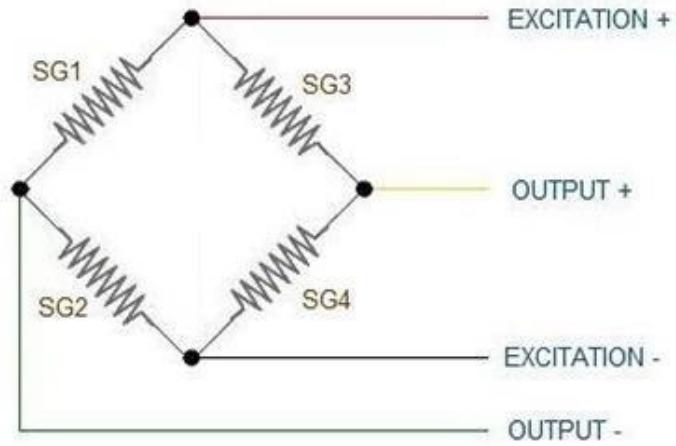
Sensor *load cell* adalah sensor yang mengeluarkan sinyal listrik sebanding dengan gaya atau beban yang diterimanya.[11] Sensor *load cell* ditunjukkan oleh Gambar 3.11. Penggunaan paling banyak dari sensor ini adalah pengukuran regangan *strain gauge* yang tersusun dari resistor berupa lembaran tipis sebagai penerima utama stimulus. Resistansi listrik dari *strain gauge* akan berubah terhadap perubahan deformasi yang terjadi pada unsur pegas akibat tekanan. Saat sebuah objek dikenai tekanan mekanik, objek tersebut dapat menyusut atau mengembang. Fenomena ini disebut efek Poisson. Efek ini dimanfaatkan pada sensor *load cell* sebagai tambahan bersama dengan *strain gauge*.



Gambar 3.11. Sensor load cell [6].

Prinsip kerja dari sensor *load cell* berhubungan dengan rangkaian jembatan *Wheatstone* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.12. Hal ini dikarenakan sensor *load cell* mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Keluaran listrik tersebut dapat diketahui besarnya dengan mengukur perubahan perubahan hambatan listrik pada sensor *load cell*. Perubahan ini sebanding dengan keluaran tegangan dari sensor.

LOAD CELL WIRING



Gambar 3.12. Rangkaian jembatan *Wheatstone* [7].

Nilai SG1 sama dengan nilai SG4 dan nilai SG2 sama dengan nilai SG3. Jika rangkaian jembatan *Wheatstone* diberi beban, nilai hambatan R akan berubah sehingga membuat sensor tidak dalam kondisi seimbang. Akibatnya, kondisi ini akan membuat terjadinya beda potensial. Beda potensial tersebut yang akan menjadi nilai keluarannya untuk diukur.

Parameter yang dapat memengaruhi pengukuran oleh sensor *load cell* adalah sebagai berikut.

1. Deformasi sensor *load cell*. Parameter ini memengaruhi sinyal listrik yang dihasilkan sebab terjadi kelelahan pada struktur sensor *load cell* sehingga sensitivitasnya menjadi berubah.
2. Suhu lingkungan. Suhu lingkungan dapat memengaruhi material struktur dari sensor *load cell* sehingga dapat memengaruhi sensitivitas sensor.
3. Gaya dari lingkungan. Faktor lain dari lingkungan yang dapat memengaruhi pengukuran adalah beban angin, getaran, guncangan, dan perbedaan tekanan.

4. Gangguan pada transmisi sinyal elektrik. Hal ini dapat terjadi akibat dari *noise* pada sinyal yang disebabkan *ripple*, gangguan pada komponen, hingga kelembaban pada sistem.

B. Karakteristik

Karakteristik sensor *load cell* ditunjukkan oleh Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Karakteristik sensor load cell [6].

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Kapasitas	1kg – 50kg
2.	Material	Alloy Aluminium
3.	Keluaran Terukur	$1,0 \pm 0,01 \text{ mV/V}$
4.	Resistansi Masukan	$1000 \pm 10 \Omega$
5.	Resistansi Keluaran	$1000 \pm 5 \Omega$
6.	Rentang Tegangan Masukan	9 V – 12 V
7.	Efek Perubahan Suhu	$\pm 0,03 \% \text{F.S}/10^\circ\text{C}$
8.	Kelebihan Beban Maksimal	150 %F.S
9.	Kode Kabel	Merah: Tegangan Masukan Sensor Hitam: <i>Ground</i> Masukan Sensor Hijau: Keluaran Positif Sensor Putih: Keluaran Negatif Sensor

8. HX711

A. Rangkaian dan Cara Kerja

Modul HX711 adalah modul yang berfungsi untuk mengonversi perubahan yang terukur (analog) dalam perubahan resistansi menjadi besaran tegangan (digital). Gambar 3.13 menunjukkan modul HX711, sedangkan konstruksi dari IC HX711 ditunjukkan oleh Gambar 3.14. Modul ini biasanya juga digunakan untuk menguatkan sinyal keluaran dari sensor sebelum dapat diolah oleh mikrokontroler. Keluaran digital ini berbentuk heksadesimal. Spesifikasi modul HX711 sebagai berikut.

- a. V_{in} : 5 V
- b. Akurasi data : 24 bit
- c. Dimensi : $38 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$
- d. Masukan : Dua *channel* analog dari sensor *load cell*
- e. Keluaran : Sinkronisasi (DT dan SCK)
- f. Frekuensi : 80 Hz



Gambar 3.13. Modul HX711.

Regulator Power	VSUP	1 •	16	DVDD	Digital Power
Regulator Control Output	BASE	2	15	RATE	Output Data Rate Control Input
Analog Power	AVDD	3	14	XI	Crystal I/O and External Clock Input
Regulator Control Input	VFB	4	13	XO	Crystal I/O
Analog Ground	AGND	5	12	DOUT	Serial Data Output
Reference Bypass	VBG	6	11	PD_SCK	Power Down and Serial Clock Input
Ch. A Negative Input	INNA	7	10	INPB	Ch. B Positive Input
Ch. A Positive Input	INPA	8	9	INNB	Ch. B Negative Input

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output (NC when not used)
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input (connect to AGND when not used)
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used)
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

Gambar 3.14. Penamaan kaki IC HX711.

B. Masukan

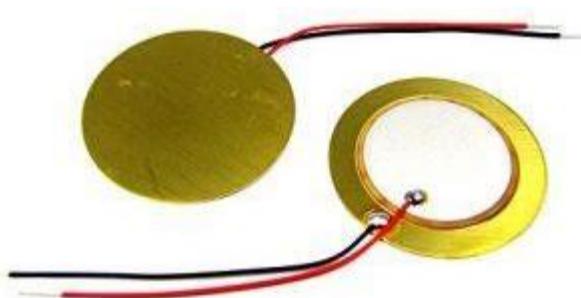
Masukan pada HX711 adalah berupa masukan analog. Masukan *Channel A* dirancang untuk menerima keluaran diferensial dari *bridge* sensor dengan penguatan 128 atau 64. Penguatan yang besar ini diperlukan untuk mengakomodasi keluaran sensor yang kecil. Masukan pada Channel B memiliki penguatan tetap sebesar 32.

C. Luaran

Pin SCK dan DAT digunakan untuk pengambilan data, pemilihan masukan, pemilihan *gain*, dan kontrol *power down*. Ketika data keluaran tidak siap untuk diambil, pin keluaran digital DAT tinggi dan masukan jam serial SCK harus rendah. Ketika DAT menjadi rendah, ini menunjukkan data siap untuk diambil dengan menerapkan 25 hingga 27 pulsa *clock* positif pada pin PD_SCK, data digeser keluar dari pin keluaran DAT. Setiap pulsa SCK bergeser keluar satu bit, dimulai dengan bit MSB terlebih dahulu, sampai semua 24 bit digeser keluar. Pulsa ke-25 pada input SCK akan menarik pin DAT kembali ke HIGH. Pemilihan input dan gain dikendalikan oleh jumlah pulsa input SCK(Tabel 3). Pulsa clock SCK tidak boleh kurang dari 25 atau lebih dari 27 dalam satu periode konversi, untuk menghindari kesalahan komunikasi serial.

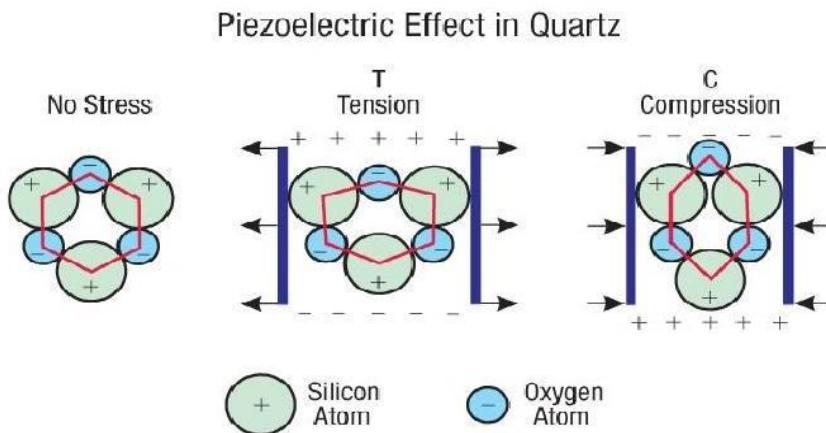
9. Piezoelectric

A. Fenomena Fisis



Gambar 3.15. Sensor piezoelektrik.

Sensor piezoelektrik merupakan sensor yang bekerja dengan memanfaatkan efek piezoelektrik, yaitu fenomena di mana material tertentu dapat menghasilkan perubahan tegangan listrik apabila diberikan tekanan mekanik (*mechanical stress*). Hal ini disebabkan karena material piezoelektrik tersusun atas struktur kristal yang terdiri dari atom bermuatan positif dan negatif. Ketika material piezoelektrik dikenai tekanan mekanik, atom-atom bermuatan tersebut akan berpindah posisi dan membentuk beda potensial. Untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar di bawah ini.



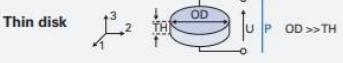
Gambar 3.16. Efek piezoelektrik pada kuarsa (SiO_2).

Sebetulnya, efek piezoelektrik dapat berlaku kebalikannya: apabila material piezoelektrik diberikan perbedaan tegangan, tekanan mekanik akan timbul. Sifat itu membuat piezoelektrik dapat digunakan sebagai sensor atau aktuator mekanik. Apabila sensor piezoelektrik hendak dijadikan sensor getaran mekanik, maka fenomena fisika yang diindera adalah perubahan tekanan mekanik. Untuk mempermudah pembacaan sensor, umumnya sensor piezoelektrik dihubungkan dengan sebuah resonator berupa sistem massa pegas yang dapat mengamplifikasi getaran masukan [12].

B. Karakteristik

- Diameter luar : 2 – 80 mm
 - Ketebalan : 0,15 – 30 mm
 - Toleransi frekuensi : $\pm 5\%$ (< 2 MHz), $\pm 10\%$ (> 2 MHz)[13]

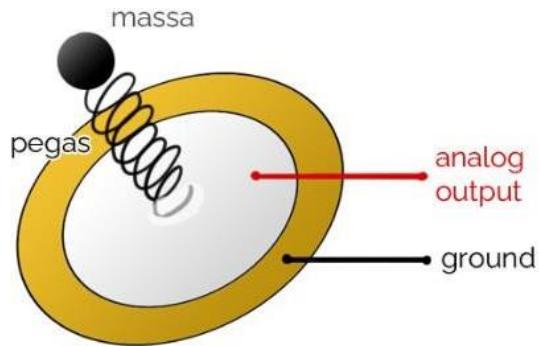
- Frekuensi resonansi :

Shape	Oscillations		
	Type	Mechanical deformation	Series resonance frequency
Thin disk 	radial		$f_s = \frac{N_p}{OD}$
	thickness		$f_s = \frac{N_t}{TH}$

keterangan: Np dan Nt adalah koefisien frekuensi yang besarnya ditentukan oleh material sensor

C. Masukan dan Luaran

Sensor piezoelektrik terdiri dari dua pelat elektroda, yaitu pelat putih (atas) dan kuning (bawah). Pelat bawah akan dihubungkan ke ground sedangkan pelat atas dihubungkan dengan kabel keluaran analog (perubahan nilai tegangan) dari sensor. Elektroda atas dari sensor direkatkan dengan sebuah bandul yang terdiri dari pegas dan massa. Bandul inilah yang akan mengamplifikasi getaran yang ditangkap oleh sensor piezoelektrik sesuai dengan frekuensi naturalnya.



Gambar 3.17. Pin-out sistem sensor piezoelektrik.

10. MPU6050

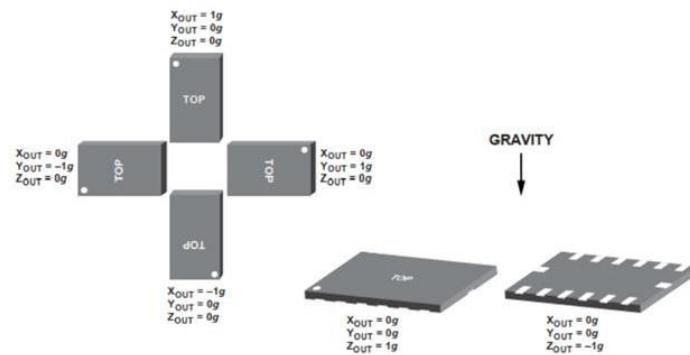
Accelerometer

A. Fenomena Fisis

Akselerometer merupakan perangkat yang dapat mengukur akselerasi atau percepatan. Akselerasi yang diukur dapat berupa percepatan statis seperti percepatan gravitasi bumi atau percepatan dinamis yang menyebabkan pergerakan atau bergetarnya

akselerometer. Kini telah dikembangkan perangkat akselerometer berukuran kecil yang dapat meningkatkan penggunaan yaitu akselerometer berbasis MEMS (Micro Electromechanical System).

Ketika melakukan pengukuran akselerasi statis, posisi-posisi relatif sensor terhadap gravitasi bumi akan memengaruhi nilai keluaran. Apabila sumbu sensitif akselerometer pelat statis dan dinamis dalam posisi tegak lurus dengan gravitasi bumi, maka keluaran akan bernilai 0g. Jika posisi sumbu sensitif akselerometer sejajar dengan gravitasi, maka keluaran akan bernilai $\pm 1g$. Posisi modul akselerometer dalam melakukan pengukuran statis dapat dilihat pada Gambar xz.



Gambar 3.18. Nilai luaran akselerometer yang dipengaruhi oleh arah gravitasi.

B. Karakteristik

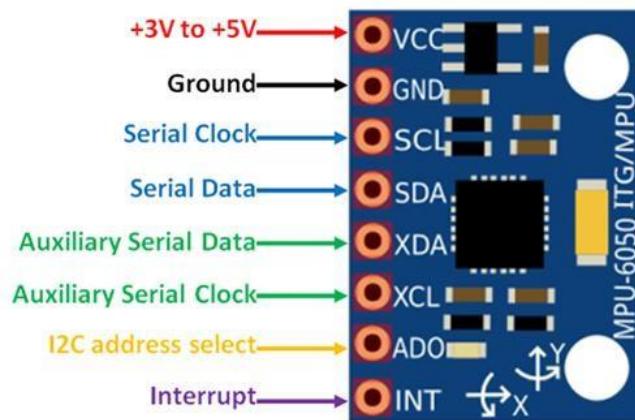
Tabel 3.3. Karakteristik sensor MPU-6050.

Parameter	Kondisi	Nilai
Full-Scale Range	AFS_SEL=0	$\pm 2g$
	AFS_SEL=1	$\pm 4g$
	AFS_SEL=2	$\pm 8g$
	AFS_SEL=3	$\pm 16g$
ADC		16 bits
Sensitivity Scale Factor	AFS_SEL=0	16.384 LSB/g
	AFS_SEL=1	8192 LSB/g
	AFS_SEL=2	4096 LSB/g
	AFS_SEL=3	2048LSB/g
VDD		2,38V-3,46V
VLOGIC		$1,8V \pm 5\%$ or VDD
Suhu Operasi		-40 – 85 °C
Zero-G Output	Sumbu X dan Y	± 50 mg

Initial Calibration Tolerance	Sumbu Z	$\pm 80 \text{ mg}$
-------------------------------	---------	---------------------

C. Masukan dan Luaran

Modul MPU-6050 memiliki 8 pin sesuai dengan Gambar 3.19. Pin VCC diberi tegangan masukan 3,3V atau 5V yang berasal dari mikrokontroler. Pin Serial Clock (SCL) dan Serial Data (SDA) dihubungkan dengan pin SCL dan SDA mikrokontroler. Pin INT dihubungkan dengan salah satu pin digital/GPIO mikrokontroler.



Gambar 3.19. Pinout modul MPU-6050.

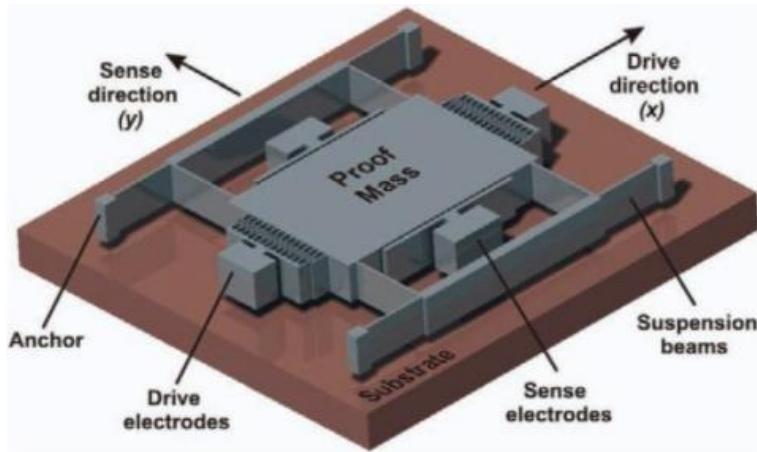
Masukan yang diterima yaitu berupa getaran atau percepatan akibat perubahan dari suatu gerakan. Masukan tersebut kemudian akan diterima oleh sensor dalam MPU-6050 dan mengeluarkan informasi analog berupa tegangan yang akan dikonversi menjadi informasi digital oleh ADC 16-bit yang tertanam dalam modul tersebut. Sehingga luaran dari modul ini adalah informasi digital mengenai nilai akselerasi untuk 3 sumbu axis (sumbu X, Y, dan Z).

Untuk dapat membaca luaran dari modul MPU-6050 perlu memperhatikan address yang dipilih saat membuat kode sumber. Hal itu dikarenakan MPU- 6050 memiliki fitur sebagai akselerometer dan juga giroskop. Address untuk membaca luaran berupa nilai akselerasi dari askelerometer yaitu 0x3B untuk sumbu X, 0x3D untuk sumbu Y, dan 0x3F untuk sumbu Z.

Gyroscope

A. Fenomena Fisis

Giroskop adalah sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan sudut sebuah benda. Ada berbagai prinsip kerja pada giroskop, tergantung jenis giroskopnya. Giroskop dalam MPU6050 sendiri menggunakan basis MEMS (*Micro Electro-Mechanical System*).



Gambar 3.20. Giroskop MEMS linier.

Pada giroskop berbasis MEMS, terdapat sebuah massa yang diletakkan di sebuah substrat. Massa ini disangga oleh benda lentur agar dapat bebas bergerak tetapi masih memiliki kekakuan. Selama giroskop beroperasi, massa digetarkan dengan elektroda aktuator, sehingga jika giroskop diputar pada sumbu yang tegak lurus dengan arah getaran, muncul efek Coriolis.[14]

Berikut merupakan penjelasan dari efek Coriolis. Ketika sebuah massa m yang bergerak ke sumbu-x positif dengan kecepatan v dikenai rotasi di sumbu-z dengan kecepatan sudut Ω , maka timbul gaya Coriolis sebesar $2\bar{m}(\bar{v} \times \bar{\Omega})$.[15] Gaya Coriolis yang ditimbulkan dari gerak rotasi giroskop inilah yang selanjutnya dikonversi menjadi perubahan tegangan. Kemudian, nilai tegangan listrik yang masih bersifat analog dikonversi menjadi digital dengan ADC di dalam sensor. Data digital inilah yang dapat dikirimkan oleh sensor melalui pin output SDA dengan menggunakan protokol komunikasi I2C.

B. Karakteristik

Tabel 3.4. Full-Scale Range (FSR) atau rentang keluaran sensor.

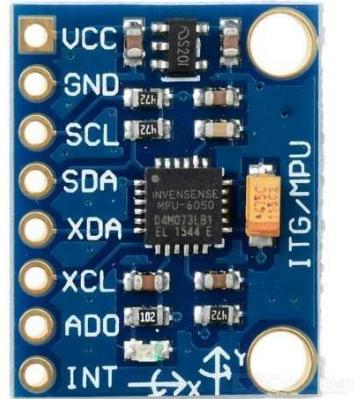
Kondisi	Full-Scale Range (°/s)
FS_SEL = 0	±250
FS_SEL = 1	±500
FS_SEL = 2	±1000
FS_SEL = 3	±2000

Tabel 3.5. Sensitivitas sensor.

Kondisi	Skala LSB/(°/s)	Sensitivitas
FS_SEL = 0	131	
FS_SEL = 1	65,5	
FS_SEL = 2	32,8	
FS_SEL = 3	16,4	

- Memiliki ADC 16 bit di keenam sumbu pengukuran
- Tegangan operasi (Vcc) : 2,38 – 3,46 V
- Suhu operasi : -40 – 85 °C
- Skala sensitivitas sensor memiliki variasi sebesar 2% terhadap perubahan 1 derajat suhu
- Ketika sensor diam (tidak ada gerakan), nilai keluaran yang dapat ditoleransi atau *Zero Rate Output* (ZRO) adalah ±20°/s pada suhu 25°C.[15]

C. Masukan dan Luaran



Gambar 3.21. MPU6050.

MPU6050 terdiri dari 8 pin, sesuai dengan Gambar 3.21. Pin VCC diberi tegangan masukan 3,3 V. Pin SCL dan SDA dihubungkan dengan pin SCL dan SDA kontroler. Sebetulnya, MPU6050 memiliki 3 jenis keluaran: 3 sumbu giroskop, 3 sumbu akselerometer, serta suhu. Maka, pada saat mengakuisisi data, perlu register alamat yang sesuai untuk mendapatkan data yang tepat. Alamat data giroskop di sumbu-x, y, dan z secara berturut-turut antara lain 0x43, 0x45, dan 0x47.

11. Condenser

A. Fenomena Fisis

a. Suara (Sound)

Suara (sound) adalah gelombang mekanis yang dihasilkan oleh benda yang bergetar. Misalnya, ketika objek seperti garpu tala atau pita suara manusia dibuat dalam gerakan getaran, molekul udara di sekitarnya terganggu dan dipaksa untuk mengikuti gerakan getaran tersebut. Molekul bergetar akan mentransfer gerakan getaran ke molekul yang berdekatan sehingga menyebabkan gangguan getaran bergerak menjauh dari sumbernya.

Dua karakteristik penting dari suara adalah intensitas, yang ditentukan oleh besarnya kompresi dan rarefaction dalam media propagasi, dan frekuensi, yang ditentukan oleh seberapa sering kompresi dan rarefaction terjadi. Frekuensi diukur dalam siklus per detik, yang ditunjukkan oleh unit hertz. Simbol untuk unit ini adalah Hz. (1 Hz = 1 siklus per detik).

b. Audio

Perbedaan utama antara suara dan audio adalah bentuk energi yang dimiliki. Suara adalah energi gelombang mekanik (gelombang suara longitudinal) yang merambat melalui media yang menyebabkan variasi tekanan dalam medium. Audio terbuat dari energi listrik (sinyal analog atau digital) yang mewakili suara secara elektrik. Audio dapat dibedakan lebih lanjut menjadi dua kategori: analog dan digital.

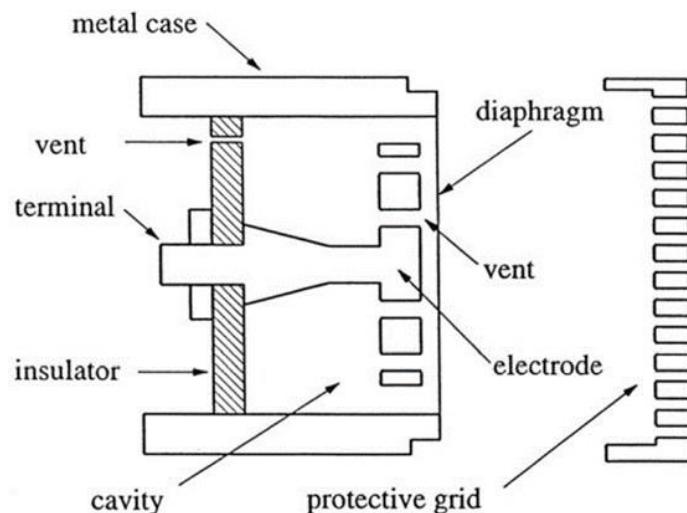
Audio analog mewakili suara dengan tegangan AC yang bertepatan dengan suara. Dalam konversi sempurna antara suara dan audio atau sebaliknya, tegangan AC ini akan memiliki frekuensi dan amplitudo relatif yang sama dengan gelombang suara itu sendiri.

Pada dasarnya audio digital mewakili suara dengan cara berbasis bentuk gelombang yang sama seperti analog. Perbedaannya adalah audio digital itu diskrit tidak kontinu. Bentuk gelombang audio digital diwakili oleh sampel kecil dari berbagai amplitudo yang ditumpuk satu demi satu untuk membangun representasi sinyal audio.

Tegangan AC yang membentuk sinyal audio biasanya diukur dalam milivolt atau volt RMS. RMS adalah singkatan dari root mean square. Dengan sinyal listrik AC, nilai ini mewakili nilai arus yang akan menghasilkan disipasi daya rata-rata yang sama dalam beban resistif.

c. Kondenser

Mikrofon kondenser sekarang menjadi jenis transduser yang paling umum untuk mikrofon pengukuran yang presisi, mikrofon studio, dan mikrofon electret murah untuk penggunaan umum. Bentuk paling sederhana dari mikrofon kondensor omnidirectional, seperti yang digunakan untuk pengukuran dan untuk beberapa aplikasi studio, ditampilkan secara skematis dalam Gambar 3.22.



Gambar 3.22. Desain skematik mikrofon kondenser.

Mikrofon kondensor membutuhkan daya DC untuk dua tujuan: Tegangan bias DC diperlukan untuk mengisi (charge) kapasitor internal yang dibentuk oleh diafragma dan pelat belakang dan untuk memberi daya pada preamp bawaan yang dibutuhkan semua mikrofon kondensor. Kapasitor harus di-charge pada awalnya, karena tegangan di kapasitor berubah sesuai kapasitansi yang bervariasi dalam menanggapi gelombang suara. Hal tersebut adalah perubahan tegangan di kapasitor yang akhirnya muncul pada output mikrofon. Tanpa tegangan DC awal untuk memulai, mengubah nilai kapasitansi tidak menghasilkan apa-apa. Namun, mikrofon kondensor electret sudah di-charge secara permanen selama pembuatan, sehingga jenis mikrofon ini hanya membutuhkan tegangan untuk menyalaikan preamp bawaan. Terlepas dari jenis elemen mikrofon kondensor, tegangan yang diperlukan dapat berasal dari baterai atau catu daya eksternal.

B. Karakteristik



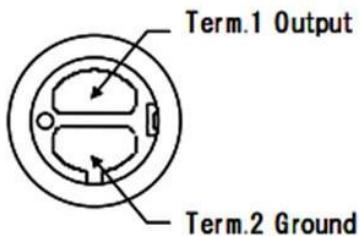
Gambar 3.23. Bentuk fisik mikrofon kondenser.

Tabel 3.6. Spesifikasi mikrofon kondenser.

Spesifikasi	
Dimensi	6 x 3,4 mm
Impedansi	2,2 kOhm
Frekuensi	20-16 kHz
Max. Tegangan Operasi	10V
Tegangan Operasi Standar	2V
Penggunaan Arus	Max 0,5mA
Reduksi Sensitivitas	-3dB pada 1,5V
S/N ratio	62dB

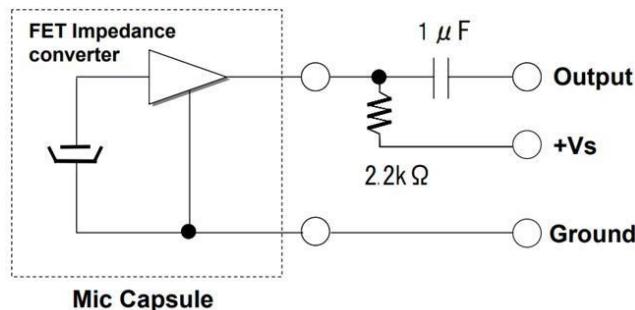
C. Masukan dan Luaran

Mikrofon kondenser electret memiliki pinout seperti pada Gambar 3.24. Terminal 1 dihubungkan dengan mikrokontroler yang akan menerima luaran dari kondenser. Terminal 2 dihubungkan dengan ground yang juga berada di mikrokontroler.



Gambar 3.24. Konfigurasi pin kaki mikrofon kondenser.

Selain itu, terminal 1 pun perlu dihubungkan dengan tegangan masukan V_s untuk dapat memberi bias pada preamp FET yang ada di dalam kapsul kondenser. Rangkaian yang diperlukan seperti pada Gambar 3.25.



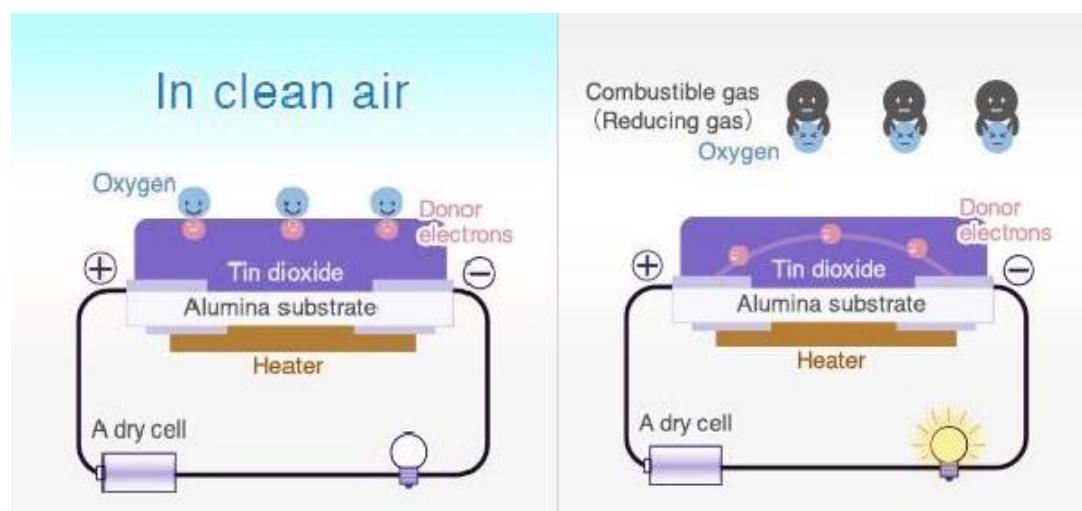
Gambar 3.25. Diagram skematik penggunaan mikrofon kondenser.

12. TGS822

A. Fenomena Fisis

TGS 822 memiliki prinsip kerja *MOS type gas sensor*.[16] TGS 822 dilengkapi dengan elemen sensor padatan timah oksida untuk membuat lapisan di atas tabung keramik alumina yang dilengkapi dengan pemanas. Material timah oksida adalah besi oksida dengan sifat semikonduktor, dengan demikian terdapat partikel pengotor (*doping*). Partikel pengotor semikonduktor dalam susunan sensor TGS 822 akan menarik elektron bebas dari udara bersih (oksigen) dikarenakan adanya material pemanas (*heater*).[16] Saat udara bersih terpapar gas seperti LPG atau alkohol, terjadi reaksi reduksi pada lapisan oksigen yang terikat oleh partikel pengotor semikonduktor. Ketika konsentrasi oksigen yang terikat partikel pengotor semikonduktor berubah, nilai konduktivitas dari semikonduktor juga ikut berubah [16]. Perubahan konduktivitas ini akan diestimasi untuk menentukan

konsentrasi gas di udara bebas.



Gambar 3.26. Prinsip Kerja Sensor Gas MOS-Type.

B. Karakteristik

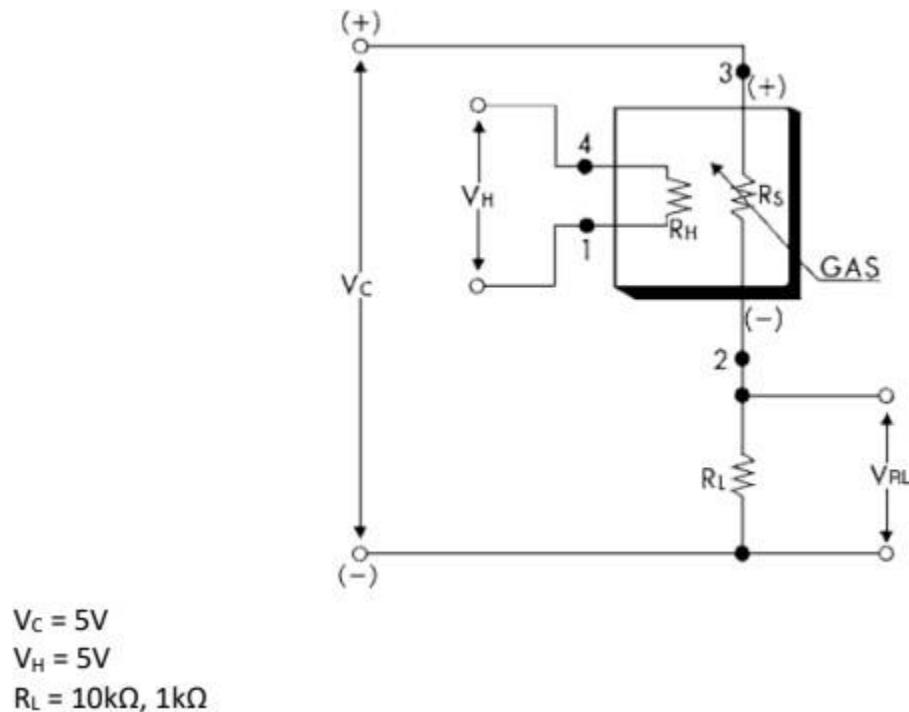


Gambar 3.27. Sensor TGS 822.

Tabel 3.7. Karakteristik Sensor TGS 822.

No.	Karakteristik	Nilai
1.	Tegangan Maksimum	24.0 V
2.	Resistansi pada 300 ppm Etanol	1 kΩ - 10 kΩ
3.	Rasio resistansi kondisi (300 ppm/50 ppm) alkohol	0.4 ± 0.1

C. Masukan dan Luaran



Gambar 3.28. Rangkaian sensor TGS 822.

Konstruksi sensor TGS 822 dipaparkan pada gambar di atas. Elemen timah oksida ditunjukkan oleh kotak pembatas. Nilai resistansi bahan tersebut dipengaruhi oleh Rh (Resistansi Pemanas) dan konsentrasi gas yang memicu reaksi reduksi di permukaan sensor. Sensor dirangkai dengan konfigurasi pembagi tegangan. Output yang dihitung adalah V_{RL} yang akan meningkat seiring berkurangnya resistansi sensor R_S .[16]

13. MQ6

A. Fenomena Fisis

MQ-6 adalah sensor gas berbasis semikonduktor yang digunakan untuk mendeteksi gas LPG (*Liquid Petroleum Gas*). Nilai konduktivitas bahan semikonduktor MQ-6 akan bervariasi apabila sensor mendeteksi kandungan gas LPG di udara [1]. MQ-6 disusun dari tabung keramik alumina dan bahan sensitif timah dioksida. Fenomena fisis utama yang mendasari prinsip kerja sensor MQ-6 serupa dengan prinsip kerja Sensor TGS 822. Pengaruh intensitas fsr yang diadsorpsi oleh material *metal oxide* akan mengubah nilai konduktivitas material tersebut.[17]

B. Karakteristik

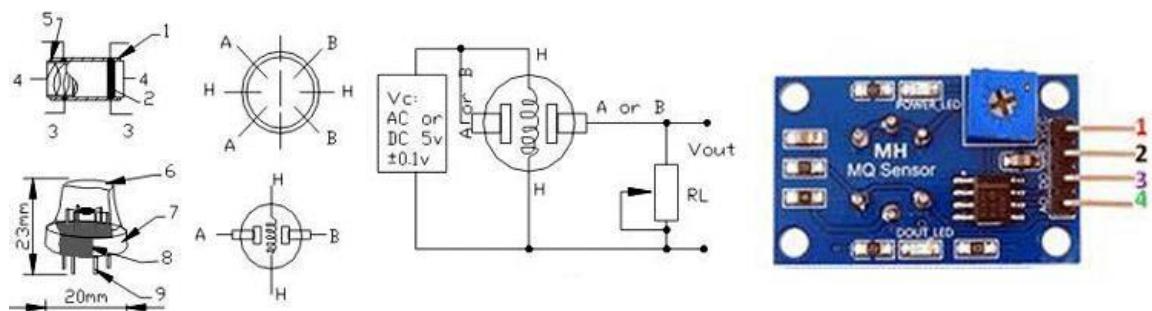


Gambar 3.29. Sensor MQ-6.

Tabel 3.8. Karakteristik Sensor MQ-6.

No.	Karakteristik	Nilai
1.	Tegangan Kerja	5.0 ± 0.1 V
2.	Resistansi Beban	$20 \text{ k}\Omega$
3.	Rentang Resistansi	$10 \text{ k}\Omega - 60 \text{ k}\Omega$
4.	Rentang Deteksi	200 ppm – 10000 ppm (LPG, butana, LNG)

C. Masukan dan Luaran



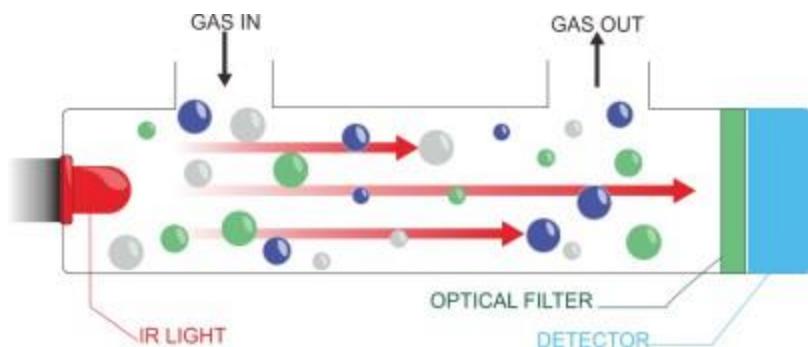
Gambar 3.30. Rangkaian sensor MQ-6.

Gambar di atas menunjukkan rangkaian sensor MQ-6. Sensor tersebut dirangkai menjadi pembagi tegangan. Nilai keluaran yang dibaca adalah nilai tegangan pada tegangan pembeban RL.

14. MH-Z19

A. Fenomena Fisis

MH-Z19 adalah salah satu jenis sensor yang mampu mengukur kandungan atau konsentrasi CO₂ di udara sekitar. Nama lengkap dari sensor ini adalah MH-Z19 NDIR CO₂. Sensor MH-Z19 menggunakan prinsip NDIR atau *non-dispersive infrared*. Sensor ini menggunakan *optical method* untuk mendeteksi gas. Metode ini dilakukan berdasarkan fakta bahwa banyak gas menyerap panjang gelombang tertentu dari cahaya inframerah. Hal ini sesuai dengan hukum Beer-Lambert mengenai hubungan linear absorbansi (penyerapan) dengan konsentrasi molekul atau suatu spesies penyerap cahaya. Komponen dasar dan utama pada NDIR adalah sumber cahaya inframerah, tabung sampel yang akan dimasuki gas, filter cahaya dan detektor.[18]



Gambar 3.31. Cara kerja NDIR.

B. Karakteristik



Gambar 3.32. Sensor MH-Z19.

Tabel 3.9. Karakteristik Sensor MH-Z19.

Product Model	MH-Z19
Target Gas	CO ₂
Working Voltage	4,5 - 5,5 Vdc
Current (average)	< 60 mA (@5V)
Current (peak)	150 mA (@5V)
Ranges	0 - 2000 ppm 0 - 5000 ppm 0 - 10000 ppm
Preheat Time	3 minutes
Response Time	T ₉₀ < 120 s
Output Signal	PWM, UART (TTL <i>interface level</i> 3,3 V), DAC (<i>default</i> 0,4 - 2 V)
Interface Level	3,3 V (<i>Compatible with</i> 5 V)
Working Temperature	0 - 50°C
Working Humidity	0 - 90% RH (<i>No Condensation</i>)
Life Span	> 5 years
Accuracy	± (50ppm + 3% <i>reading value</i>)

C. Masukan dan Luaran

PIN	Description
Pin 6	Vin (voltage input)
Pin 7	GND
Pin 1	Vout (output voltage 3.3V, output current lower than 10mA)
Pin 9	PWM
Pin 5	HD (zero calibration, low level above 7 seconds) (Factory Reserved)
Pin 2	UART (RXD) 0~3.3V digital input
Pin 3	UART (TXD) 0~3.3V digital output
Pin 4	SR (Factory Reserved)
Pin 8	AOT (Factory Reserved)



Gambar 3.33. Konfigurasi pin sensor MH-Z19.

Sensor MH-Z19 memiliki 2 keluaran data yaitu melalui PWM dan serial berupa UART. Setiap keluaran memiliki jenis data yang berbeda-beda. Berikut adalah penjelasan data tiap keluaran.

1. PWM (*Pulse Width Modulation*)

Keluaran PMW memberikan data dalam bentuk pulsa. Nilai konsentrasi CO₂ dihitung dari lebar pulsa yang diberikan. Berikut adalah rumus perhitungan pada rentang 0 – 2000 PPM.

$$C_{PPM} = 2000 \times (T_H - 2ms) / (T_H + T_L - 4ms)$$

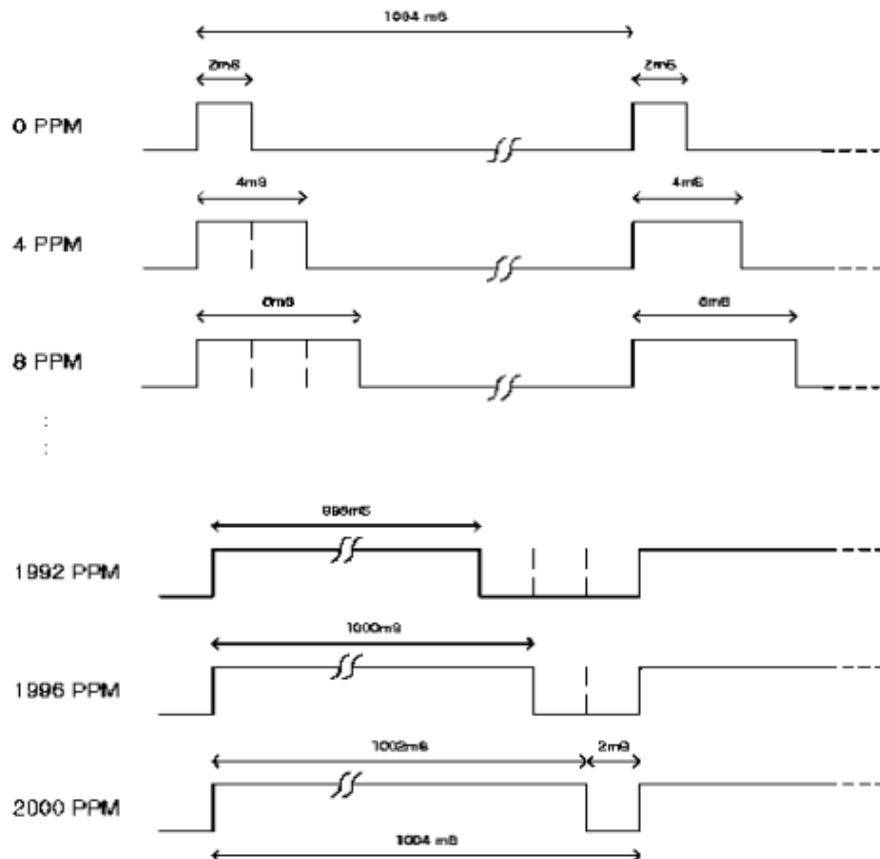
Keterangan :

C_{PPM} = Konsentrasi CO₂ (PPM)

T_H = waktu high level selama output cycle

T_L = waktu low level selama output cycle

Pengukuran CO₂ berdasarkan pulsa sehingga hasil pengukuran diperoleh dari lebar pulsa baik *high level* maupun *low level*. Total *cycle* berjumlah 1004 ms ±5%. *High level* diawal dan *low level* diakhir konstan bernilai 2 ms ±5%. Kadar konsentrasi CO₂ berbanding lurus dengan lebar pulsa high level. Pada Gambar 3.34 dijelaskan mengenai pulsa PWM.[18]



Gambar 3.34. Keluaran PMW MH-Z19.

2. UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*)

Komunikasi secara serial atau UART menggunakan *port Rx* dan *Tx*. Data yang dikirim tidak langsung berupa nilai dalam suatu variabel, namun berupa *byte* yang berjumlah 9 *byte* (0 – 8 *byte*). Delapan *byte* data dan satu *byte stop byte*. Nilai *baudrate* yang umum yaitu 9600 dan tanpa *parity* (*check bits*). *Byte 0* atau *byte pertama* selalu bernilai 0xFF.[18]

Berdasarkan *datasheet*, pada keluaran ini tidak perlu melakukan perhitungan. Namun, untuk memperoleh nilai konsentrasi dibutuhkan penjumlahan *byte* yang berisi *low level concentration* dan *high level concentration*. *Low level concentration* terdapat di *byte 2* dan *high level concentration* terdapat di *byte 3*. Pada Gambar 3.35 menunjukkan data dari keluaran UART.

Gas concentration reading								
Send command								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Starting byte	Sensor No.	command	-	-	-	-	-	Check value
0xFF	0x01	0x86	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x79

Return value								
Return								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Starting byte	command	High level concentration	Low level concentration	-	-	-	-	Check value

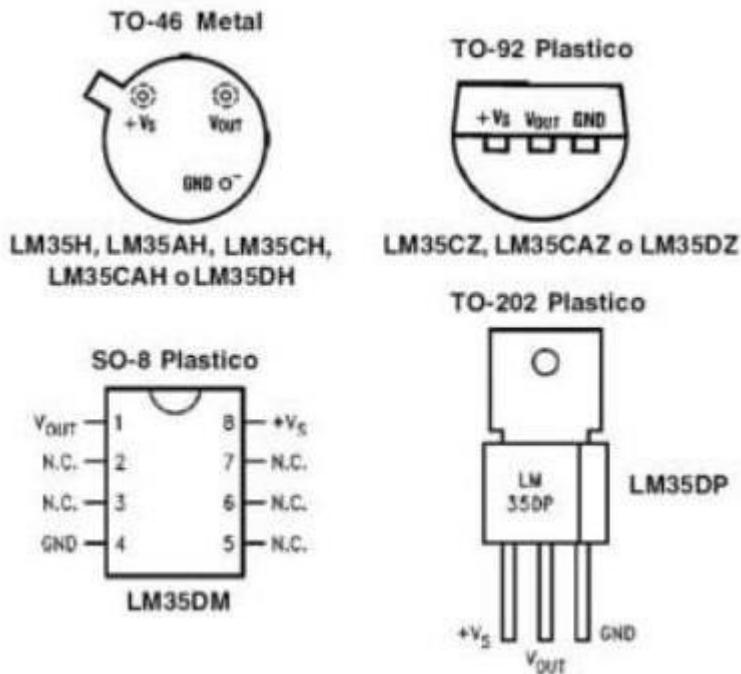
Gambar 3.35. Byte data output UART MH-Z19.

15. LM35

A. Fenomena Fisis

Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan. Meskipun tegangan sensor ini dapat mencapai 30 volt akan tetapi yang diberikan kesensor adalah sebesar 5 volt, sehingga dapat digunakan dengan catu daya tunggal dengan ketentuan bahwa LM35 hanya membutuhkan arus sebesar $60 \mu\text{A}$ hal ini berarti LM35 mempunyai kemampuan menghasilkan panas (self-heating) dari sensor yang dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang rendah yaitu kurang dari $0,5^\circ\text{C}$ pada suhu 25°C . Secara prinsip sensor akan melakukan penginderaan pada saat perubahan suhu setiap suhu 1°C akan menunjukkan tegangan sebesar 10 mV. Pada penempatannya LM35 dapat ditempelkan dengan perekat atau dapat pula disemen pada permukaan akan tetapi suhunya akan sedikit berkurang sekitar $0,01^\circ\text{C}$ karena terserap pada suhu permukaan tersebut. Dengan cara seperti ini diharapkan selisih antara suhu udara dan suhu permukaan

dapat dideteksi oleh sensor LM35 sama dengan suhu disekitarnya, jika suhu udara disekitarnya jauh lebih tinggi atau jauh lebih rendah dari suhu permukaan, maka LM35 berada pada suhu permukaan dan suhu udara disekitarnya.[19]



Gambar 3.36. Tampak depan dan bawah LM35.

Pada Gambar 3.36 ditunjukkan bentuk dari LM35 tampak depan dan tampak bawah. 3 pin LM35 menujukan fungsi masing-masing pin diantaranya, pin 1 berfungsi sebagai sumber tegangan kerja dari LM35, pin 2 atau tengah digunakan sebagai tegangan keluaran atau V_{OUT} dengan jangkauan kerja dari 0 Volt sampai dengan 1,5 Volt dengan tegangan operasi sensor LM35 yang dapat digunakan antara 4 Volt sampai 30 Volt.

B. Karakteristik

Tabel 3.10. Karakteristik sensor LM35.

Akurasi	0.5 °C
Rentang Pengukuran	-55 °C - 150 °C
Rentang Tegangan Masukan	4 V - 30 V

Arus	60 μ A
Error	0.1 $^{\circ}$ C
Linearitas	+ - 0.25 $^{\circ}$ C

C. Masukan dan Luaran

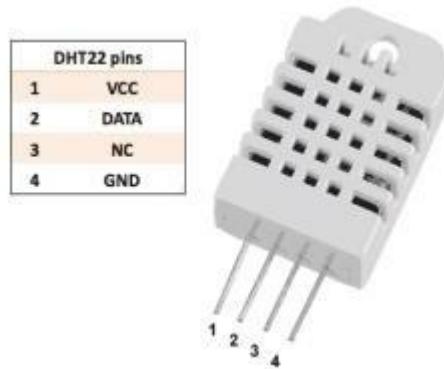
Masukan dari LM35 adalah suhu dari lingkungan yang kemudian akan diubah menjadi tegangan. Luaran dari LM35 adalah tegangan dan memiliki karakteristik tegangan yang mendekati linear dengan persamaan:

$$T = \frac{V_{out}}{10mV}$$

16. DHT22

A. Fenomena Fisis

DHT-22 atau AM2302 adalah sensor suhu dan kelembaban, sensor ini memiliki keluaran berupa sinyal digital dengan konversi dan perhitungan dilakukan oleh MCU 8-bit terpadu. Sensor ini memiliki kalibrasi akurat dengan kompensasi suhu ruang penyesuaian dengan nilai koefisien tersimpan dalam memori OTP terpadu. Sensor DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu dan kelembaban yang luas, DHT22 mampu mentransmisikan sinyal keluaran melewati kabel hingga 20 meter sehingga sesuai untuk ditempatkan di mana saja, tapi jika kabel yang panjang di atas 2 meter harus ditambahkan buffer capacitor $0,33\mu$ F antara pin#1 (VCC) dengan pin#4 (GND)[20]. Berikut penampakan dari sensor:



Gambar 3.37. Sensor DHT22.

Pada dasarnya DHT22 terdiri dari 2 buah sensor yang berfungsi untuk membaca data parameter lingkungan yang berbeda, yakni termistor untuk mengukur suhu dan material dielektrik untuk mengukur kelembapan.

B. Karakteristik

Tabel 3.11. Karakteristik sensor DHT22.

Akurasi	+2% dan +0.5 °C
Rentang Pengukuran	0% - 99.9% dan -40 °C - 80 °C
Rentang Tegangan Masukan	3.3 V - 5.5 V
Waktu Respon	

C. Masukan dan Luaran

Masukan dari DHT22 adalah suhu dan kelembapan dari lingkungan sekitar dan akan diproses pada rangkaian terpadu yang terdapat pada modul sensor. Luaran dari DHT22 adalah data biner dengan panjang data 40 bit dan diakses menggunakan protokol *onewire* dengan ketentuan 16 bit awal merupakan data kelembapan dan 16 bit kedua merupakan data suhu, dengan faktor pengali 0,1 dan 8 bit terakhir merupakan hasil penjumlahan dari setiap 8 bit data di awal hingga bit ke 32.[20] Contoh dari data luaran DHT22 adalah sebagai berikut:

00000101001001000000010000110110100010

Berdasarkan data di atas, jika dibagi menjadi 3 buah data dengan panjang masing- masing 16 bit, 16 bit, dan 8 bit akan didapatkan data

0000001010010010 -> data kelembapan

$$H = 658 \cdot 0.1 = 65.8\%$$

0000000100001101 -> data suhu

$$T = 269 \cdot 0.1 = 26.9 \text{ €}$$

10100010 -> hasil penjumlahan data

$$00000010 + 10010010 + 00000001 + 00001101 = 10100010$$

$$1 + 146 + 1 + 13 = 162$$

17. DS18B20

A. Fenomena Fisis

Sensor DS18B20 merupakan sensor digital yang memiliki 12-bit ADC internal. Sangat presisi, sebab jika tegangan referensi sebesar 5Volt, maka akibat perubahan suhu, ia dapat merasakan perubahan terkecil sebesar

$$\frac{5}{2^{12}-1} = 0.0012 \text{ Volt} [21]$$

Prinsip kerja dari DS18B20 sama dengan sebuah *thermocouple* akan tetapi data yang diberikan adalah data yang telah diolah karena terdapat rangkaian terpadu yang berfungsi sebagai ADC sebagaimana yang telah dijelaskan.

B. Karakteristik

Tabel 3.12. Karakteristik sensor DS18B20.

Akurasi	+0.001 °C
Rentang Pengukuran	-50 °C - 125 °C
Rentang Tegangan Masukan	3.0 V - 5.5 V

C. Masukan dan Luaran

Masukan dari sensor ini adalah perubahan suhu dan akan menghasilkan perubahan tegangan dari *sensing element* sensor lalu akan diolah oleh ADC internal sensor. Data yang menjadi luaran dari sensor dapat diolah dengan protokol *onewire* dan dibaca sesuai dengan register dari sensor.

18. Thermocouple tipe K

A. Fenomena Fisis

Termokopel merupakan salah satu jenis sensor temperatur yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Temperatur. Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan temperatur dan juga rentang temperatur operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 1250°C. Selain respon yang cepat dan rentang temperatur yang luas, Termokopel juga tahan terhadap goncangan/getaran dan mudah digunakan. Termokopel ini berbahan

dasar Chromel dan Alumel yang mempunyai sensitivitas rata-rata $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. [22]



Gambar 3.38. Thermocouple Tipe K.

19. MAX6675

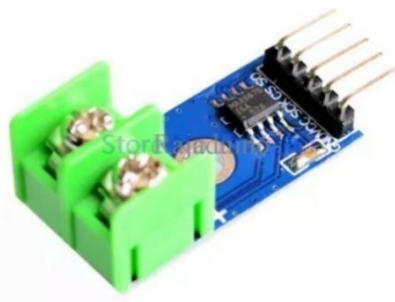
A. Rangkaian dan Cara Kerja

MAX6675 memiliki 5 pin yang terdiri dari :

- Vcc port ini menggunakan tegangan +5V
- SO port ini inputan untuk port MISO pada IC ATMega yang berfungsi sebagai jalur data untuk komunikasi.
- CS port ini inputan untuk port ss pada IC ATMega yang berfungsi untuk mendownload program atau data yang terbaca pada termokopel-K
- CSK port ini inputan untuk port sck pada IC ATMega yang berfungsi sebagai clock data.
- GND port ini berfungsi sebagai saluran ground atau pentahanan.

MAX6675 dibentuk dari kompensasi coldjunction yang output didigitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. data output memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Data dapat dibaca dengan mengkonversi hasil pembacaan 12-bit data. Fungsi dari termokopel adalah untuk mengetahui perbedaan temperatur di bagian ujung dari dua bagian metal yang berbeda dan disatukan. Termokopel tipe *hot junction* dapat mengukur mulai dari 0°C sampai $+1023,75^\circ\text{C}$. MAX6675 memiliki bagian ujung *cold end* yang hanya dapat mengukur -20°C sampai $+85^\circ\text{C}$. Pada saat bagian cold end MAX6675 mengalami fluktuasi temperatur maka MAX6675 akan tetap dapat mengukur secara akurat perbedaan temperatur pada bagian yang lain. MAX6675 dapat melakukan koreksi atas perubahan pada temperature ambient dengan kompensasi

cold-junction. Device mengkonversi temperature ambient yang terjadi ke bentuk tegangan menggunakan sensor *temperature diode*. Untuk dapat melakukan pengukuran actual, MAX6675 mengukur tegangan dari output termokopel dan tegangan dari sensing diode. Performance optimal MAX6675 dapat tercapai pada waktu termokopel bagian cold-junction. Max6675 dibentuk dari kompenasi cold-junction yang output nya digitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. Data output memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Data dapat dibaca dengan mengkonversi hasil pembacaan 12-bit data.[22]



Gambar 3.39. Sensor MAX6675.

20. SHT20

A. Fenomena Fisis

Sensor SHT2x terdiri dari sensor kelembaban dengan tipe kapasitif dan sensor suhu dengan tipe band gap yang bekerja layaknya thermocouple serta dilengkapi dengan rangkaian terpadu untuk mengolah data mentah dari kedua sensor tersebut. Rangkaian terpadu ini menghasilkan sensor yang memiliki kinerja handal dalam hal akurasi dan stabilitas serta konsumsi daya minimal. Selain sensor kelembaban kapasitif dan sensor suhu band gap, SHT2x juga tersusun dari rangkaian terpadu berisi amplifier, konverter A/D, memori OTP, dan unit pengolahan digital.[23]

B. Karakteristik

Tabel 3.13. Karakteristik sensor SHT20.

Akurasi	+3% dan +0.3 °C
---------	-----------------

Rentang Pengukuran	0% - 100% dan -40 °C - 125 °C
Rentang Tegangan Masukan	2.1 V - 3.6 V
Waktu Respon	5 s - 8s
Resolusi	0.04 dan 0.04 °C

C. Masukan dan Luaran

Masukan dari SHT20 berupa perubahan suhu dan kelembapan lingkungan yang kemudian akan diolah oleh rangkaian terpadu yang terdapat pada modul sensor dan akan dikirimkan berupa data biner melalui protokol I2C. Untuk mendapatkan data suhu dan kelembapan yang diinginkan, dapat diakses dari *register* yang diberikan oleh sensor sesuai dengan data seperti 11100011 untuk status suhu dan 11100101 untuk status kelembapan.

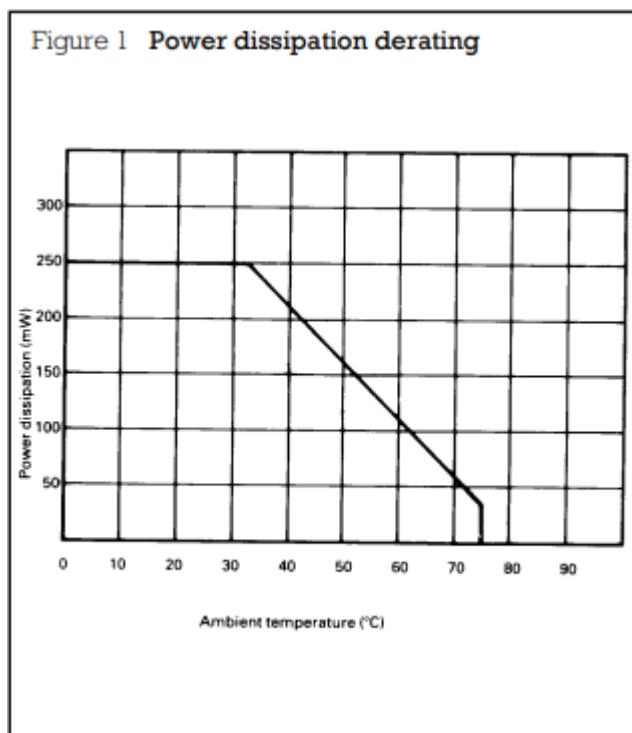
21. LDR

A. Fenomena Fisis

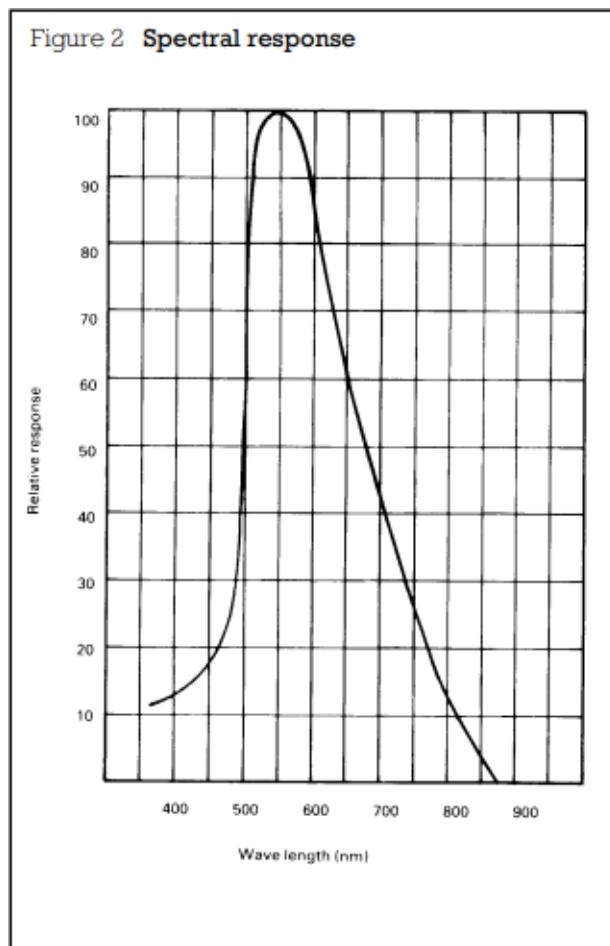
Light dependent resistor (LDR) merupakan suatu resistor yang nilai resistansinya dapat berubah tergantung dari intensitas cahaya yang mengenainya. Terdapat dua jenis LDR berdasarkan material penyusunnya. LDR yang bersifat intrinsik terbuat dari material semikonduktor murni seperti silikon atau germanium. Di sisi lain, LDR yang bersifat ekstrinsik terbuat dari material semikonduktor yang memiliki impuritas, seperti kombinasi silikon-fosfor. Ketika cahaya mengenai permukaan LDR, sebagian elektron terluar dari atom semikonduktor akan menyerap energi dari cahaya tersebut. Besar energi yang diberikan oleh cahaya akan bergantung dari frekuensi cahayanya. Jika energi yang diterima oleh elektron terluar melebihi energi ikat dari elektron tersebut, maka elektron tersebut akan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Intensitas cahaya yang semakin besar akan berakibat pada semakin banyaknya jumlah elektron yang berpindah. Semakin banyak jumlah elektron yang berpindah ke pita konduksi, maka semakin banyak pula jumlah pembawa muatan yang ada. Akibatnya, nilai resistansi dari LDR akan menurun. Dari sini dapat disimpulkan bahwa nilai resistansi LDR akan menurun jika intensitas cahaya yang diberikan meningkat.

B. Karakteristik

Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh LDR adalah 320 V AC/DC peak dengan arus maksimal sebesar 75 mA. Suhu kerja dari LDR berada pada rentang - 60 sampai dengan 75°C. Kurva disipasi energi dari LDR dapat dilihat pada Gambar 3.40, sedangkan respon frekuensi dari LDR dapat dilihat pada Gambar 3.41 [24]. Nilai resistansi dari LDR memiliki hubungan yang berkebalikan dengan intensitas cahaya yang diterima. Semakin kecil intensitas cahaya yang diterima oleh LDR, semakin besar nilai resistansi dari LDR. Kurva hubungan antara resistansi LDR terhadap intensitas cahaya yang diterima dapat dilihat pada Gambar 3.42 [24].

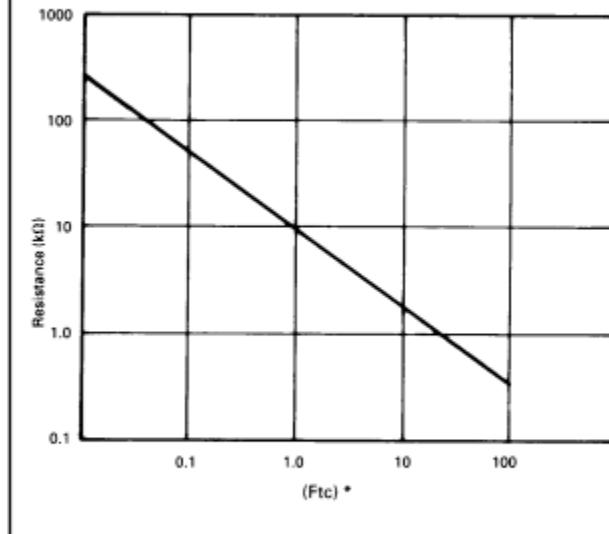


Gambar 3.40. Kurva disipasi energi dari LDR.



Gambar 3.41. Respons frekuensi dari LDR.

Figure 3 Resistance as a function of illumination



* $1\text{Ftc} = 10.764 \text{ lumens}$

Gambar 3.42. Kurva hubungan antara resistansi LDR dengan intensitas cahaya.

C. Masukan dan Luaran

Variabel masukan dari LDR adalah intensitas cahaya, sedangkan variabel keluarannya adalah nilai resistansi. Karena sifatnya ini, LDR dapat diterapkan ke dalam rangkaian pembagi tegangan, di mana nilai resistansi dari LDR dapat dirangkai secara seri dengan suatu resistor dengan nilai resistansi tertentu. Dalam kasus ini, intensitas cahaya berlaku sebagai variabel masukan, sedangkan tegangan drop pada salah satu resistor berlaku sebagai variabel keluaran.

22. Photodiode

A. Fenomena Fisis

Fotodioda adalah sensor optik semikonduktor. Proses deteksi optik melibatkan konversi langsung cahaya (dalam bentuk foton) menjadi sinyal listrik (dalam bentuk elektron).

Jika sambungan pn dibias maju dan terkena cahaya dengan frekuensi yang tepat, kenaikan arus akan sangat kecil terhadap arus gelap. Dengan kata lain, arus bias yang disebabkan oleh baterai jauh lebih besar daripada arus yang dihasilkan oleh cahaya dan dioda akan tidak terlalu berguna untuk mendeteksi cahaya.

Jika sambungan dibias mundur, ketika cahaya mengenai semikonduktor, arus akan meningkat. Foton yang menimpa membuat pasangan elektron-lubang pada kedua sisi persimpangan. Ketika elektron memasuki pita konduksi, mereka mulai mengalir ke sisi positif baterai. Sejalan dengan itu, lubang yang dibuat mengalir ke terminal negatif, yang berarti bahwa arus foto akan mengalir di jaringan. Dalam kondisi gelap, arus gelap tidak akan tergantung pada tegangan yang diberikan. Proses deteksi optik melibatkan konversi langsung energi optik (dalam bentuk foton) menjadi sinyal listrik (dalam bentuk elektron).

B. Karakteristik

Tabel 3.14. Karakteristik photodiode.

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 50 \text{ mA}$	V_F	-	0.85	1.3	V
Breakdown voltage	$I_R = 100 \mu\text{A}, E = 0$	$V_{(BR)}$	60	-	-	V
Reverse dark current	$V_R = 20 \text{ V}, E = 0$	I_{ro}	-	0.1	5	nA
Diode capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$	C_D	-	11	-	pF
Open circuit voltage	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 850 \text{ nm}$	V_O	-	410	-	mV
Short circuit current	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 870 \text{ nm}$	I_K	-	50	-	μA
Reverse light current	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 870 \text{ nm}, V_R = 5 \text{ V}$	I_{ra}	-	55	-	μA
	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 940 \text{ nm}, V_R = 5 \text{ V}$	I_{ra}	30	60	-	μA
Temperature coefficient of I_{ra}	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2, \lambda = 870 \text{ nm}, V_R = 5 \text{ V}$	TK_{Ira}	-	-0.1	-	%/K
Absolute spectral sensitivity	$V_R = 5 \text{ V}, \lambda = 870 \text{ nm}$	$s(\lambda)$	-	0.55	-	A/W
Angle of half sensitivity		φ	-	± 20	-	°
Wavelength of peak sensitivity		λ_p	-	940	-	nm
Range of spectral bandwidth		$\lambda_{0.5}$	-	780 to 1050	-	nm
Quantum efficiency	$\lambda = 950 \text{ nm}$	η	-	70	-	%
Noise equivalent power	$V_R = 20 \text{ V}, \lambda = 950 \text{ nm}$	NEP	-	3×10^{-14}	-	W/√Hz
Detectivity	$V_R = 20 \text{ V}, \lambda = 950 \text{ nm}$	D	-	3×10^{12}	-	cm·Hz/W
Rise time	$V_R = 10 \text{ V}, R_L = 50 \Omega, \lambda = 830 \text{ nm}$	t_r	-	80	-	ns
Fall time	$V_R = 10 \text{ V}, R_L = 50 \Omega, \lambda = 830 \text{ nm}$	t_f	-	60	-	ns

(BPV10NF Silicon PIN Photodiode)

C. Masukan dan Luaran

Masukan dari sebuah *photodiode* adalah gelombang cahaya yang diberikan pada LED yang kemudian akan memberikan respon luaran berupa tegangan.

23. PIR

A. Fenomena Fisis



Gambar 3.43. Sensor PIR.

Elemen penginderaan PIR (*Passive Infra Red*) merupakan elemen pengindera yang responsif terhadap radiasi inframerah menengah dan jauh dalam kisaran spektral dari sekitar 4 hingga 20 μm di mana sebagian besar daya termal yang dipancarkan oleh manusia terkonsentrasi (suhu permukaan berkisar antara 26 hingga 37 $^{\circ}\text{C}$). elemen piroelektrik merupakan elemen yang sering digunakan untuk deteksi gerakan berkat kesederhanaannya, biaya rendah, tinggi responsif, dan rentang dinamis yang luas.[25]

Bahan piroelektrik adalah zat kristal yang mampu menghasilkan muatan listrik sebagai respons terhadap aliran panas. Efek piroelektrik sangat erat hubungannya dengan efek piezoelektrik. Sensor piroelektrik pada dasarnya adalah kapasitor yang dapat diisi secara listrik oleh fluks termal. Meskipun tidak ada perbedaan asal

mula panas, baik dari kontak dengan permukaan yang hangat/dingin, atau dengan menyerap radiasi termal, hasilnya akan sama yaitu muatan listrik . Ketika kristal piroelektrik terkena aliran panas (misalnya, dari sumber radiasi infra merah atau dari menyentuh benda yang hangat atau dingin), suhu sisi yang terkena akan meningkat dan sisi tersebut akan menjadi sumber atau *sink* panas yang merambat melalui bahan piroelektrik menuju atau dari sisi berlawanan. Oleh karena itu, ada aliran keluar panas dari kristal ke lingkungan. Dalam cara yang sangat sederhana, respons piroelektrik dapat digambarkan sebagai efek sekunder dari ekspansi termal.

Panas IR yang diserap oleh elektroda sisi atas menyebabkan suhu sisi atas meningkat di atas suhu dasar. Akibatnya, ukuran dari sisi atas mengembang, menyebabkan tekanan mekanis pada kristal piezoelektrik. Pada gilirannya, stres akan menyebabkan terbentuknya muatan piezoelektrik. Muatan yang diinduksi IR ini diubah menjadi tegangan yang melintasi elektroda.

Salah satu cara untuk membuat detektor PIR diferensial adalah dengan meletakkan dua pasang elektroda pada kedua sisi pelat piroelektrik tunggal. Setiap pasangan akan membentuk kapasitor yang dapat diisi baik oleh panas atau oleh tekanan mekanis. Elektroda di sisi atas sensor dihubungkan bersama, membentuk satu elektroda kontinu, sedangkan dua elektroda bawah dipisahkan, sehingga menciptakan dua kapasitor terhubung berseri yang berlawanan. Bergantung pada sisi di mana elektroda diposisikan, sinyal keluaran akan memiliki polaritas positif atau negatif untuk respons yang diinduksi secara termal. Setiap saat, komponen optik (misalnya, lensa Fresnel) harus memfokuskan gambar termal suatu objek pada permukaan satu bagian sensor saja, jika tidak, sinyal akan dibatalkan.

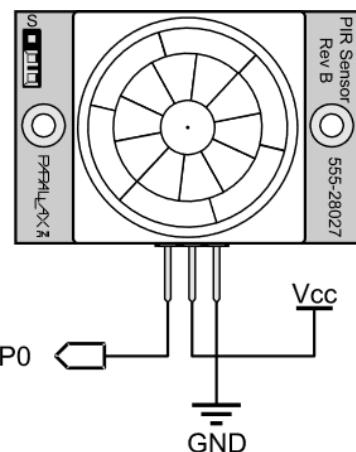
B. Karakteristik

- Keluaran bit tunggal
- Mendeteksi seseorang hingga sekitar 30 kaki jauh, atau hingga 15 kaki dalam mode sensitivitas yang dikurangi
- Sumber arus hingga 12 mA @ 3 V, 23 mA @ 5 V
- Persyaratan Daya: 3 hingga 6 VDC; 130 A menganggur, 3 mA aktif (tanpa beban)

- Komunikasi: Output tinggi/rendah bit tunggal
- Suhu pengoperasian: 32 hingga 122 °F (0 hingga 50 °C)
- Dimensi: 1,41 x 1,0 x 0,8 inci (35,8 x 25,4 x 20,3 cm)[25]

(Parallax PIR Sensor (#555-28027))

C. Masukan dan Luaran



Pin Definitions and Ratings

Pin	Name	Type	Function
1	GND	G	Ground: 0 V
2	Vcc	P	Supply Voltage: 3 to 6 VDC
3	OUT	O	PIR signaling; HIGH = movement/LOW = no movement

Pin Type: P = Power, G = Ground, I = Input, O = Output

Jumper Settings

Symbol	Description
S	Reduced sensitivity mode, for a shorter range, about 15 feet maximum
L	Normal operation, for a longer range, about 30 feet maximum

Gambar 3.44. Skema pin sensor PIR dan penjelasannya.

Sensor PIR dengan seri #555-28027 dari Parallax memiliki 3 pin, yaitu GND (Ground), Vcc, dan OUT (keluaran). Dapat dilihat dari tabel diatas, bahwa masukan dari sensor ini merupakan sebuah tegangan DC sebesar 3 sampai 6V, dan keluaran dari sensor ini merupakan sebuah sinyal biner, dimana jika sinyal HIGH akan berarti terdeteksi gerakan dan jika sinyal LOW berarti tidak terdeteksi adanya gerakan.

24. BH1750

A. Fenomena Fisis

BH1750 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya tampak. Intensitas cahaya dideteksi dengan menggunakan fotoresistor yang ada pada BH1750, sehingga prinsip kerja sensor ini serupa dengan prinsip kerja LDR, di mana intensitas cahaya yang meningkat akan menambah jumlah pasangan elektron bebas dan *hole*. Banyaknya elektron bebas dan *hole* yang muncul akan menghasilkan arus listrik. Karena sumber cahaya yang dideteksi merupakan cahaya tampak, maka material semikonduktor yang ada pada komponen fotoresistor akan sensitif pada cahaya di rentang frekuensi cahaya tampak. Intensitas cahaya diukur menggunakan satuan lux, yaitu 1 lumen per meter persegi.

B. Karakteristik

Sensor ini bekerja pada sumber tegangan pada rentang 2,4-3,6 V dengan konsumsi arus sebesar 0,12 mA. Rentang nilai lux yang dapat diukur oleh sensor ini adalah 1-65535 lux dengan akurasi kurang lebih 20% dari nilai aslinya [26]. Hal yang membedakan antara LDR dengan BH1750 adalah metode komunikasi datanya. BH1750 menggunakan protokol komunikasi I2C, sedemikian sehingga sensor langsung akan memberikan hasil pengukuran dari pin keluaran sensor tanpa perlu melakukan konversi data. Karena BH1750 menggunakan protokol komunikasi I2C, sensor ini juga memiliki ADC yang akan mengonversi data analog dari fotoresistor menjadi data digital.[26]

C. Masukan dan Luaran

Terdapat lima pin pada sensor ini: VCC, GND, SCL, SDA, dan ADDR. Pin VCC disambungkan ke sumber tegangan pada rentang 2,4-3,6 V. Pin SCL (serial clock) dan SDA (serial data) merupakan pin yang dibutuhkan pada protokol komunikasi I2C. Pin ADDR merupakan pin *device address* yang akan digunakan ketika terdapat lebih dari dua modul yang saling terhubung. Jika tidak digunakan, pin ini dapat disambungkan ke *ground* bersamaan dengan pin GND.

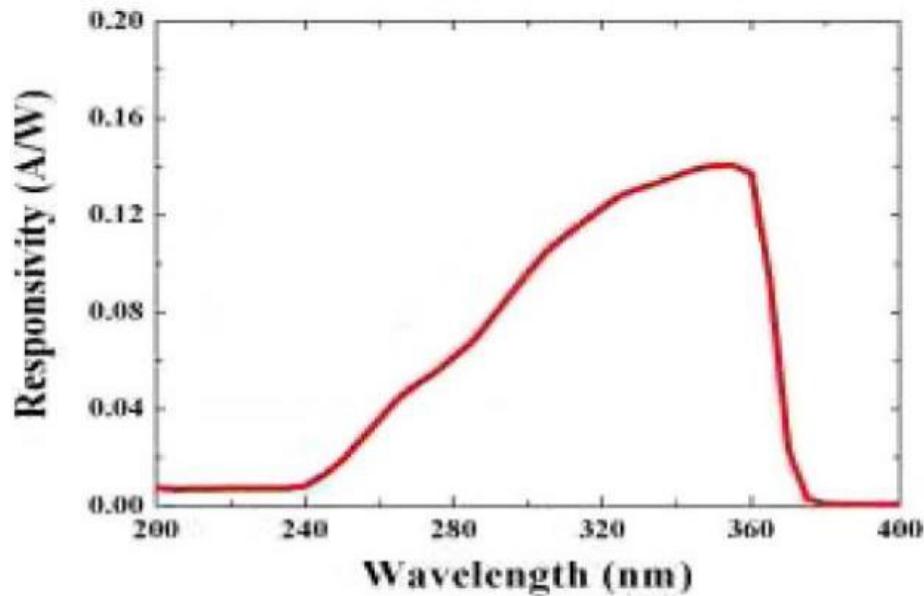
25. UVM

A. Fenomena Fisis

Modul sensor UV (UVM) merupakan modul sensor yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya ultraviolet. Komponen utama dari UVM adalah fotodiode yang tersusun dari material semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya pada rentang frekuensi ultraviolet. Ketika cahaya ultraviolet mengenai komponen fotodiode, elektron terluar yang ada pada material semikonduktor tersebut akan tereksitasi dan memunculkan pasangan elektron bebas dan *hole*. Elektron akan bergerak ke arah katoda, sedangkan *hole* akan bergerak ke arah anoda. Gerakan dari keduanya akan memunculkan arus listrik. Komponen fotodiode tersebut terintegrasi dengan komponen lain di dalam modul sedemikian sehingga intensitas cahaya yang berbeda akan menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda pada modul sensor UV.

B. Karakteristik

Rentang panjang gelombang dari sinar UV yang dapat diterima oleh sensor ini berada pada rentang nilai 240-370 nm. Kurva respons dari sensor ini dapat dilihat pada Gambar 3.45 [27]. Sensor dapat beroperasi secara optimal pada temperatur 20-85°C. Modul sensor UV merupakan sensor yang bersifat linier, artinya tegangan keluaran dari modul sensor UV akan sebanding dengan masukan berupa intensitas radiasi sinar ultraviolet. Besar intensitas radiasi sinar ultraviolet dinyatakan dalam skala UV index yang memiliki nilai antara 0-11+. [27]



Gambar 3.45. Kurva respons sensor UV.

C. Masukan dan Luaran

Umumnya modul sensor UV memiliki tiga pin: GND, VCC, dan OUTPUT. Sensor ini dapat beroperasi dengan nilai VCC antara 3-5 V DC. Keluaran dari modul sensor UV merupakan tegangan analog dengan rentang nilai antara 0-1 V DC. Nilai UV *index* dapat ditentukan berdasarkan nilai tegangan keluaran dari modul sensor UV. Hubungan antara nilai UV *index* dengan tegangan keluaran modul sensor UV dapat dilihat di Gambar 3.46.[27]

紫外线指数 UV Index	0	UV INDEX 1	UV INDEX 2	UV INDEX 3	UV INDEX 4	UV INDEX 5
Vout(mV)	<50	227	318	408	503	606
紫外线指数 UV Index	UV INDEX 6	UV INDEX 7	UV INDEX 8	UV INDEX 9	UV INDEX 10	UV INDEX 11+
Vout(mV)	696	795	881	976	1079	1170+

Gambar 3.46. UV index.

26. Motor DC

A. Fenomena Fisis



Gambar 3.47. Motor DC.

Motor arus searah (DC) adalah jenis komponen elektronik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC mengambil daya listrik melalui *direct current*, dan kemudian mengubah energi tersebut menjadi rotasi mekanis. Secara garis besar, motor DC terbagi menjadi 2 bagian yaitu *stator* dan *armature*.

Stator adalah bagian dari motor DC yang statis (diam) dan *armature* adalah bagian yang berputar (rotasi). Daya listrik melalui arus searah sebagai sumber motor DC akan menghasilkan medan magnet melalui prinsip induksi elektromagnetik. *Stator* ini yang menyediakan putaran medan magnet yang menyebabkan *armature* berputar. Motor DC sederhana menggunakan 1 set magnet stasioner di stator. Kemudian terdapat kumparan kawat dengan arus yang mengalir melaluinya yang akan menghasilkan medan elektromagnetik yang sejajar dengan kumparan.

Gulungan kawat berinsulasi dihubungkan ke komutator, yang mengalirkan arus listrik ke belitan. Komutator memungkinkan setiap kumparan jangkar diberi energi secara bergantian dan kemudian menciptakan torsi. Ketika kumparan dihidupkan dan dimatikan secara berurutan, medan magnet berputar yang berinteraksi dengan medan magnet stasioner yang berbeda di stator untuk menciptakan torsi, yang menyebabkannya berputar. Prinsip operasi utama motor DC ini memungkinkan mereka untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui gerakan berputar, yang kemudian dapat diaplikasikan untuk penggerak objek.

B. Karakteristik

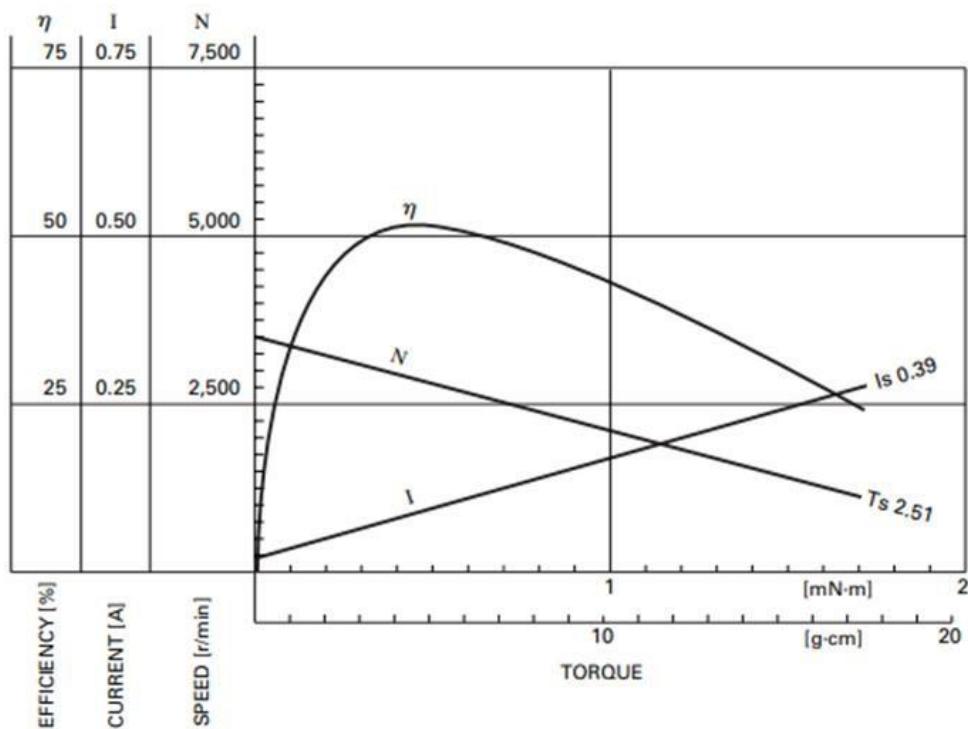
Berikut karakteristik atau datasheet dari motor DC RF – 300FA.[28]

Tabel 3.15. Karakteristik motor DC RF-300FA.

RF – 300FA – 12350											
Voltage		No Load		At Maximum Efficiency					Stall		
Operating Range	Nominal	Speed	Current	Speed	Current	Torque		Output	Torque		Current
		r/min	A	r/min	A	mN.m	g.cm	W	mN.m	g.cm	A
1.5 – 6	3V Const	3500	0.022	2830	0.093	0.48	4.9	0.14	2.51	26	0.39

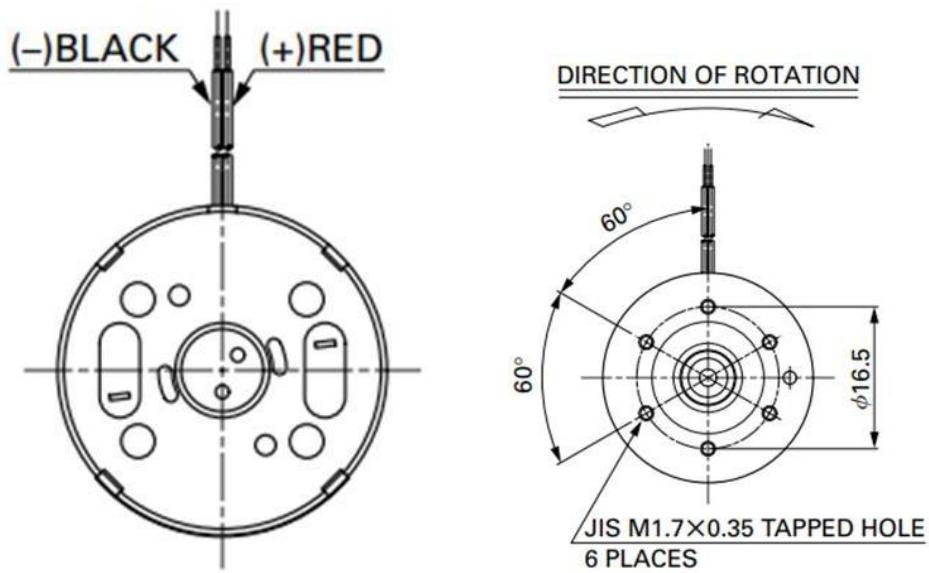
RF-300FA-12350

3.0V

**Gambar 3.48.** Kurva torsi motor DC RF-300FA.

C. Masukan dan Luaran

Motor DC RF – 300FA – 12350 memiliki input berupa energi listrik melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan pengendalian analog dan digital. Output dari motor DC adalah rotasi mekanis.



Gambar 3.49. Gambar teknik dari motor DC RF-300FA.

27. Buzzer

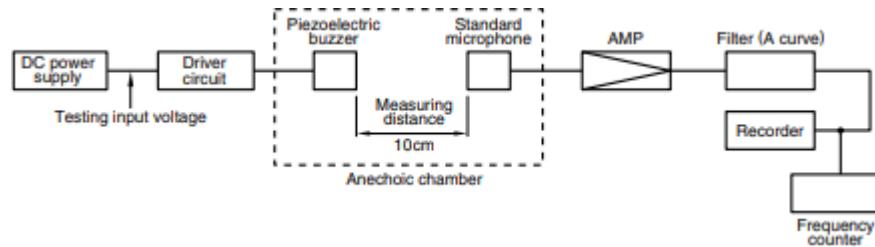
A. Fenomena Fisis



Gambar 3.50. Buzzer.

Piezo Buzzer atau Buzzer merupakan sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk memproduksi suara atau bunyi. Komponen ini menggunakan material kristal piezo sebagai bahan dasar. Secara umum, komponen ini bekerja dengan memanfaatkan material piezo dimana ketika mendapatkan input tegangan, maka akan memberikan tekanan pada kristal piezo dan kemudian akan menghasilkan gelombang yang kemudian akan ditangkap oleh kупing manusia sebagai suara.

Buzzer merupakan aktuator dan biasa digunakan sebagai indikator. Beberapa aplikasi buzzer adalah pada Computer and peripherals, *Communications equipment*, *Portable equipment*, *Automobile electronics*, *POS system*, *Electronic cash register*. Berikut blok diagram *sound measuring method* dari buzzer.



Gambar 3.51. Diagram blok *sound measuring method* dari buzzer.

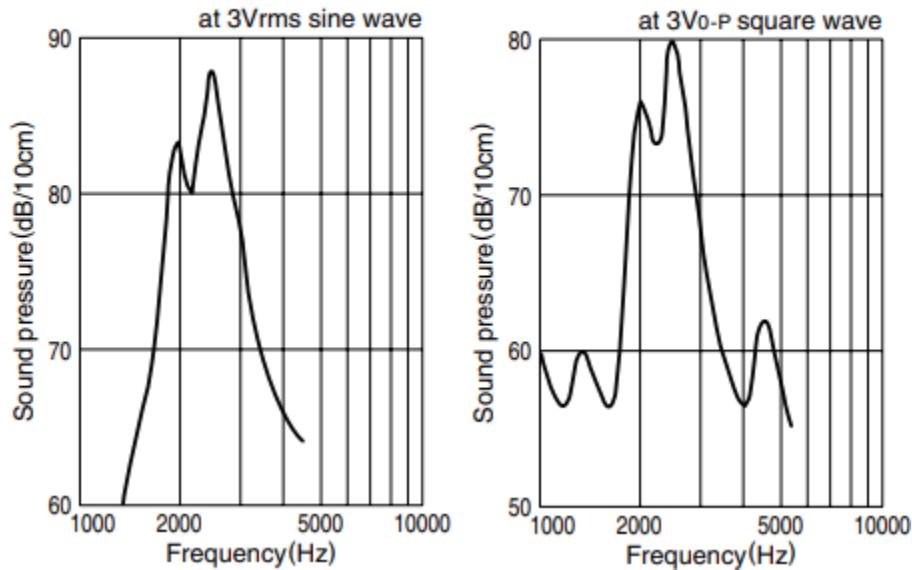
B. Karakteristik

Tabel 3.16. Karakteristik buzzer.

Buzzer	
Parameters	Value
Rated Voltage	6V DC
Operating Voltage	4-8V DC
Rated current	< 30mA
Sound Output @10cm	< 85 dB
Sound Type	Continuous Beep
Resonant Frequency	~2300 Hz
Operating Temperature	-25°C to +80°C
Storage Temperature	-30°C to +85°C
Weight	2 g

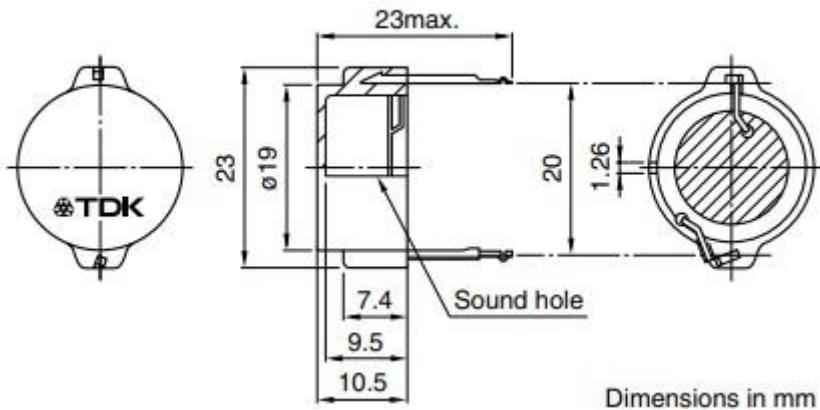
Berikut adalah grafik karakteristik dan bentuk dan dimensi dari buzzer PS1920P02[29]

FREQUENCY SOUND PRESSURE CHARACTERISTICS SINE WAVE DRIVE SQUARE WAVE DRIVE



Gambar 3.52. Karakteristik frekuensi tekanan bunyi buzzer.

SHAPES AND DIMENSIONS



Gambar 3.53. Gambar teknik dari buzzer.

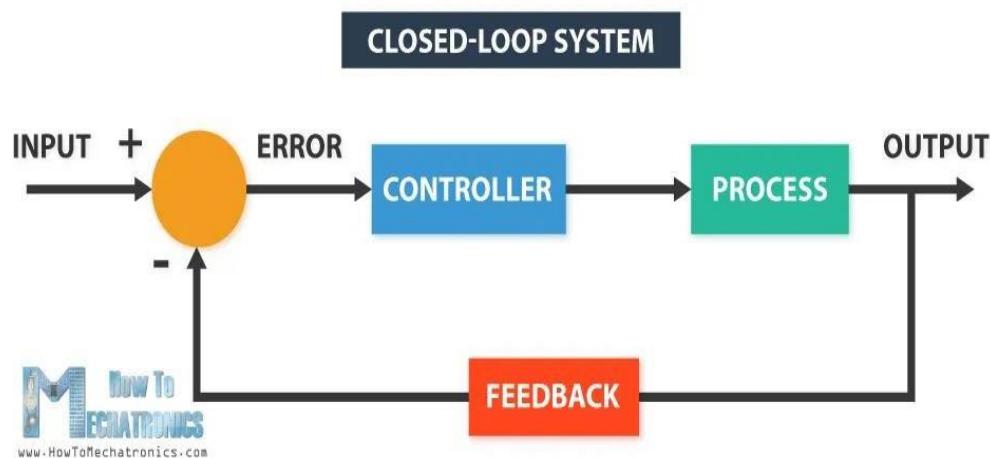
C. Masukan dan Luaran

Buzzer memiliki input berupa energi listrik (voltage) melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan pengendalian analog dan digital. Output dari buzzer adalah suara (*beep*).

28. Motor Servo

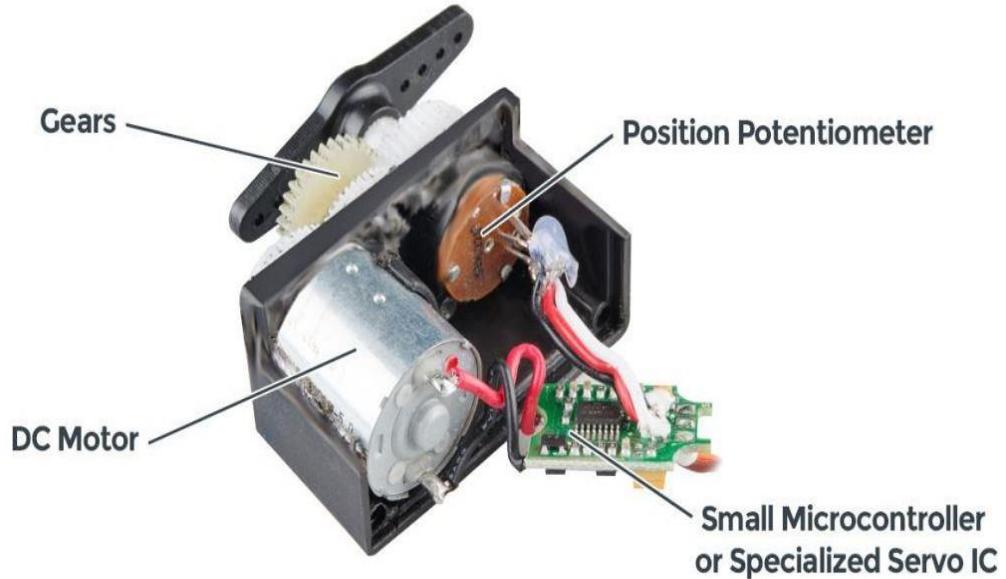
A. Fenomena Fisis

Motor servo adalah sistem kalang tertutup yang menggunakan umpan balik posisi untuk mengendalikan gerakan dan posisi akhir.



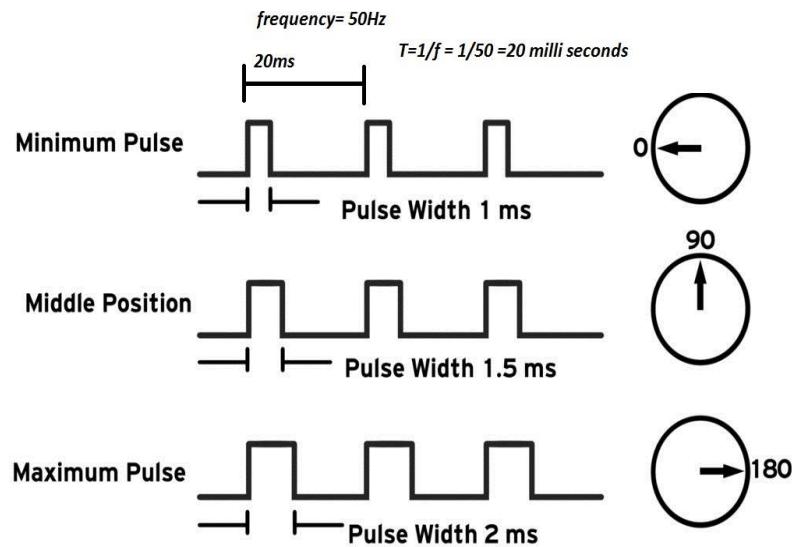
Gambar 3.54. Diagram kalang tertutup.

Motor servo yang digunakan di industri menggunakan encoder berpresisi tinggi sebagai sensor umpan balik posisi, sementara radio control atau servo yang digunakan untuk hobi sensor posisi yang digunakan biasanya adalah potensiometer sederhana [30]. Masukan motor servo dapat berupa sinyal analog atapun sinyal digital, motor servo banyak digunakan sebagai aktuator yang membutuhkan posisi putaran motor yang presisi. Sudut dari motor servo diatur berdasarkan pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor [31]. Komponen potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum putaran sumbu motor servo [32].



Gambar 3.55. Bagian-bagian motor servo.

Gambar 20 menunjukkan bagian-bagian penyusun motor servo. Terdapat beberapa komponen seperti motor DC, *gears*, dan potensiometer. Poros motor dc yang memiliki rpm tinggi terhubung dengan *gears*. Gear ini meningkatkan torsi motor dan konsekuensinya adalah rpm yang dihasilkan akan turun. Putaran kotak roda gigi (*gearbox*). Putaran *gearbox* mempengaruhi resistansi pada potensiometer. Potensiometer dirangkai layaknya sebuah pembagi tegangan (*Voltage devider*), sehingga ketika motor berputar, potensiometer menghasilkan keluaran berupa tegangan pada tingkat tertentu. Tegangan itulah yang dijadikan sebagai sumber informasi sudut putaran motor. Untuk mempertahankan posisinya, rangkaian kendali memerlukan sinyal PWM (*pulse width modulation*). Lebar sinyal yang diatur antara 1ms hingga 2ms. Motor akan berputar dari titik 0° hingga (180° atau 360° bergantung pada jenis dan tipe motor servo yang digunakan) jika diberikan sinyal pada rentang waktu tertentu. Sinyal PWM ini harus terus diberikan setiap 20ms [33].



Gambar 3.56. Fungsi PWM pada motor servo.

Gambar 3.56 menunjukkan fungsi dari sinyal PWM pada motor servo. Apabila lebar pulsanya adalah 1ms, motor akan tetep pada posisi 0°. Saat lebar pulsa diubah menjadi 1,5 ms motor akan berputar 90°, dan apabila diberi sinyal 2ms maka putarannya menjadi 180° [9].

Terdapat 2 jenis pengendali motor servo, yaitu menggunakan hidraulik dan elektrik. Perbedaan kedua pengendali motor servo dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.17. Perbandingan pengendali servo yang menggunakan hidraulik dan elektrik.

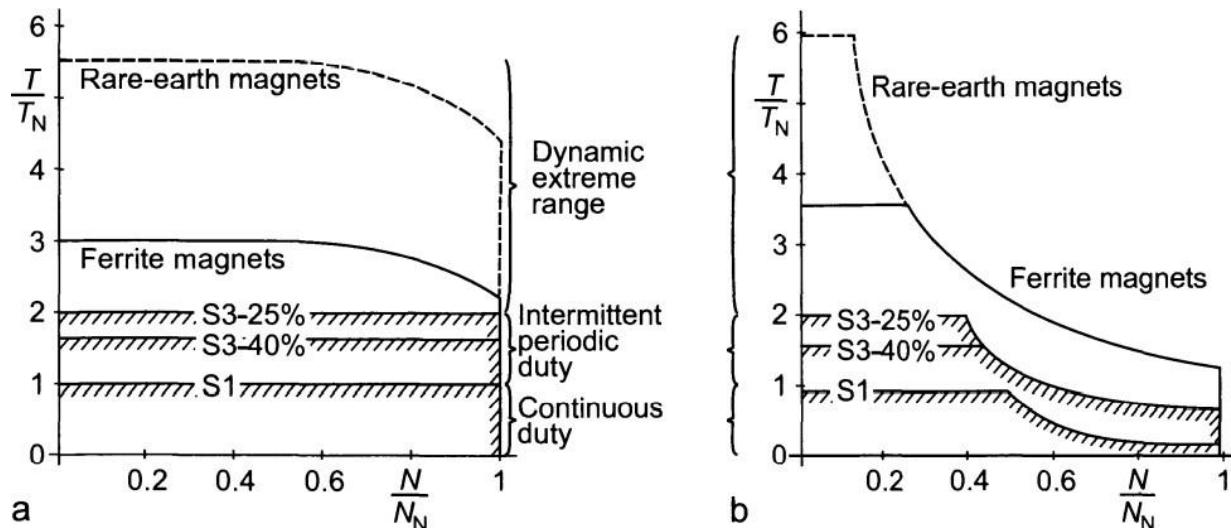
Hydraulic Drive	Electromagnetic drives
Densitas energi lebih tinggi	Kendali respon lebih baik
Ukuran <i>mounting</i> lebih kecil	Efisiensinya lebih tinggi
Lebih tinggi dalam kemampuan akselerasi	Lebih mudah perawatan
Berbiaya rendah	Mudah diadaptasi dalam kondisi yang berbeda-beda
Gerakan linear lebih mudah dihasilkan	
Rentan terhadap kebocoran	

Komutator motor servo banyak yang menggunakan DC komutator karena mudah untuk dilakukan penyesuaian. Kelebihan penggunaan dc komutator pada motor servo adalah hanya satu nilai arus yang harus diukur dan dikendalikan, sehingga kendali elektriknya lebih mudah. Rotor yang terbuat bukan besi (*ironless*) memiliki komponen mekanik dan *time constant* yang rendah. Rotor motor 3 (tiga) fase dengan permanen magnet atau dengan

sangkar (kurungan) lilitan memiliki inersia yang lebih baik. Perbedaan karakteristik antara motor dc dengan dan tanpa sikat dapat dilihat pada tabel di bawah ini [34].

Tabel 3.18. Perbandingan antara motor servo dc dan tiga fase.

DC current drives	Three-phase drives
Unik suplai dan kendali yang mudah dengan satu arus	Kontrolnya setidaknya dengan 2 (dua) arus dan menerima posisi rotor
Amplifikasi servo lebih mudah	Konverter yang lebih mahal dan kapasitas <i>switching</i> yang lebih tinggi
Menghasilkan suara yang cukup keras dalam penggunaan sikat dan komutator	Perawatan mudah, kokoh, dan bersuara rendah
Sikat rotor berumur lebih dari 3000 jam	Sikat berumur sekitar 10000 jam
Dinamik yang terbatas dengan komutasi	Tingkat pelindung motor lebih tinggi
Disipasi kalor berada di atas poros motor	<i>Ironless</i> motor
Dalam tegangan yang lebih dari 400V dibutuhkan transformator yang sesuai	Massa yang lebih ringan dan ukuran yang kecil
	Dapat dioperasikan secara langsung.

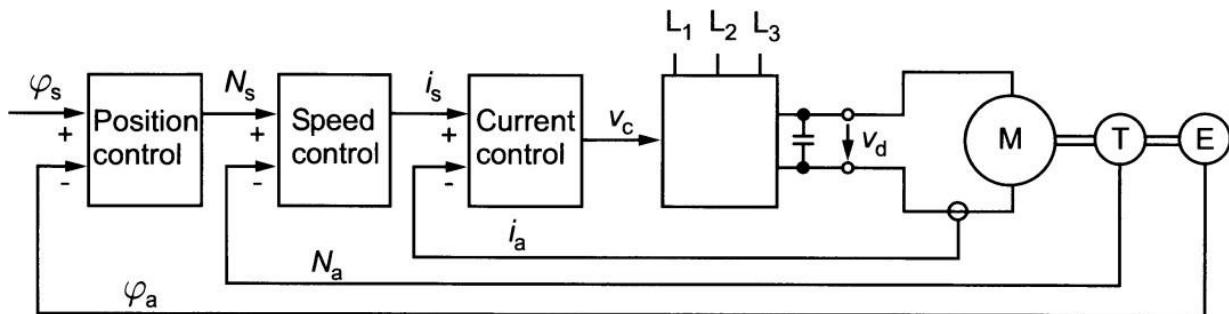


Gambar 3.57. Rentang peforma motor servo: a. motor BLDC, b. motor DC; 25%, 40%: siklus faktor durasi.

Motor AC 3 fase dengan lilitan rotor yang seperti kendang tupai, torsi yang dihasilkan menyebabkan terbentuknya arus secara induktif dalam rotor. Dibutuhkan magnet yang lebih baik atau *slip rings*. Kecepatan putar poros motor mendekati kecepatan rotasi motor yang bergantung pada frekuensi kutub dan kendali elektronik, sehingga kecepatan rotasi motor dapat diatur berdasarkan frekuensi. Tabel di bawah ini menunjukkan perbandingan antara motor servo BLDC dan AC [34].

Tabel 3.19. Perbandingan motor BLDC dan AC.

	BLDC drive	Three-phase drive
Kekokohan	Tinggi	Sangat tinggi
Kapabilitas melebihi beban	Tinggi	Sangat tinggi
Daerah kelemahan	<i>Only restricted possible</i>	Dalam rentang yang besar
Ohmic loss	Di dalam stator	Di dalam stator dan rotor
Kebutuhan daya yang reaktif	Tidak dapat digunakan	Diperlukan
Ukuran dalam jumlah daya yang sama	Lebih kecil	Lebih tinggi
Biaya	Tinggi	Rendah
Kendali	Lebih mudah dan murah	Skala besar, mahal
Total biaya	Tinggi	Sangat tinggi



Gambar 3.58. Blok diagram rangkaian kendali untuk motor servo.

Gambar 3.58 menunjukkan kendali komutator motor servo (m). Posisi yang diinginkan (posisi *setpoint*) diberikan oleh sistem, nilai aktualnya oleh encoder (e). Kendali posisi kalang tertutup menentukan, dengan *setpoint* / perbandingan nilai aktualnya, kebutuhan kecepatan rotasi (N_s). Kecepatan rotasi tersebut (N_s) dibandingkan dengan nilai kecepatan rotasi aktual (N_a) yang diukur dengan *tacho-generator* (t) yang menghasilkan arus motor yang diperlukan i_s yang diatur oleh *inner control loop*. Sebuah *six pulse bridge* disuplai oleh sistem tiga fase yang menghasilkan arus searah u_d tergantung pada sinyal kontrol u_e [34].

B. Karakteristik

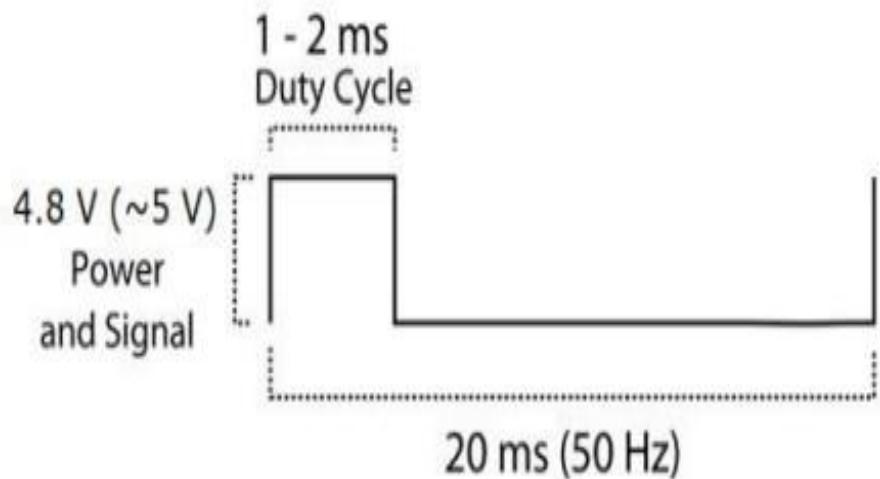
Motor servo yang digunakan dalam praktikum ini adalah tipe SG90 9g. Karakteristiknya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.20. Karakteristik motor servo tipe SG90 9g.

Weight	9 g
Dimension	22,2 x 11,8 x 31 mm
Stall torque	1,8 kgfwdawdaws678967.cm
Operating speed	0,1 to 60 degree
Operating voltage	4.8 V (~5V)
Dead band width	10 µs
Temperature range	0°C to 55°C



Gambar 3.59. *Wiring diagram motor servo tipe SG90 9g dan tipe MGS90s.*



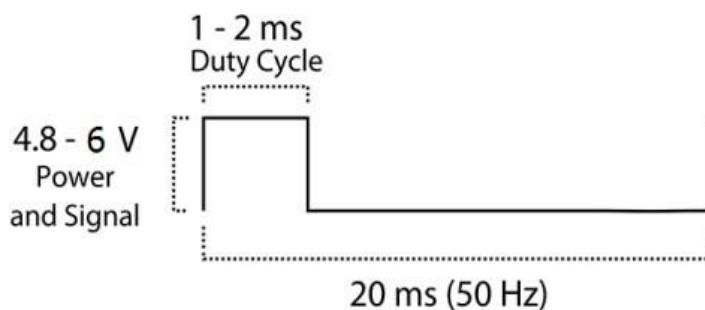
Gambar 3.60. *Duty cycle* terhadap periode PWM.

Motor servo lain yang digunakan dalam praktikum ini adalah motor servo tipe MG90s.

Motor servo tersebut memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.21. Karakteristik motor servo tipe MG90s.

Weight	13,4 g
Dimension	22,5 x 12 x 35,5 mm
Stall torque	1,8 kgf.cm (4,8 V), 2,2 kgf.cm (6V)
Operating speed	0,1 to 60 degree (4,8V) or 0,08 to 60° (6V)
Operating voltage	4,8V to 6,0V
Dead band width	5 µs

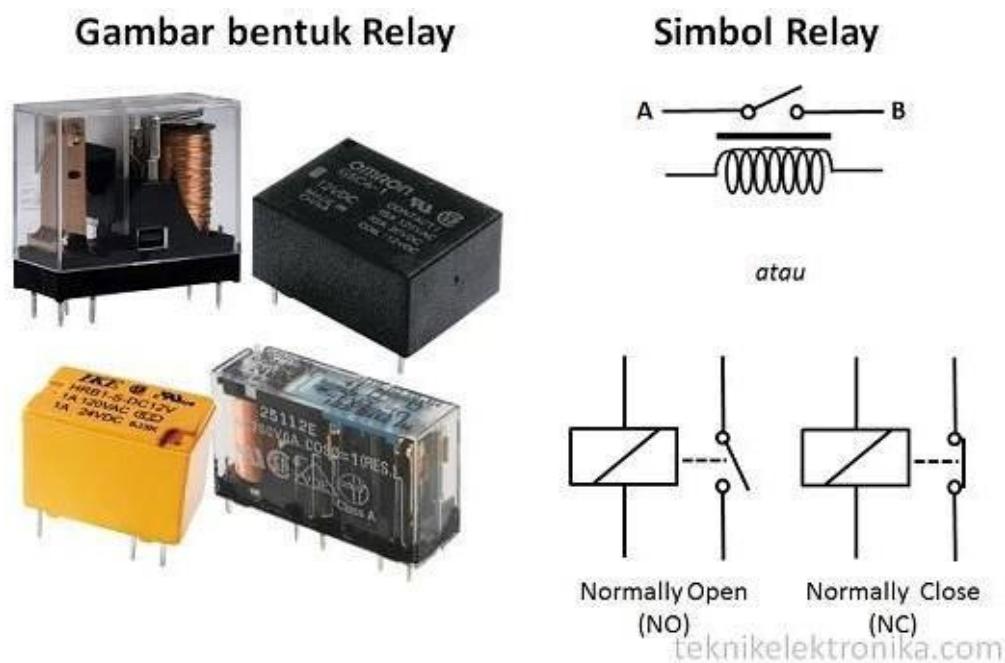


Gambar 3.61. *Duty cycle* terhadap periode PWM.

29. Relay

A. Fenomena Fisis

Relay merupakan sebuah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri atas dua bagian, yaitu elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (kontak saklar/*switch*) [35]. Fungsi dari *coil* adalah sebagai alat penarik kontak point agar dapat terhubung atau terputus menyesuaikan dengan relay yang digunakan. Fungsi dari saklar sebagai kontrol pengguna untuk mengatur aliran listrik yang mengalir [36].

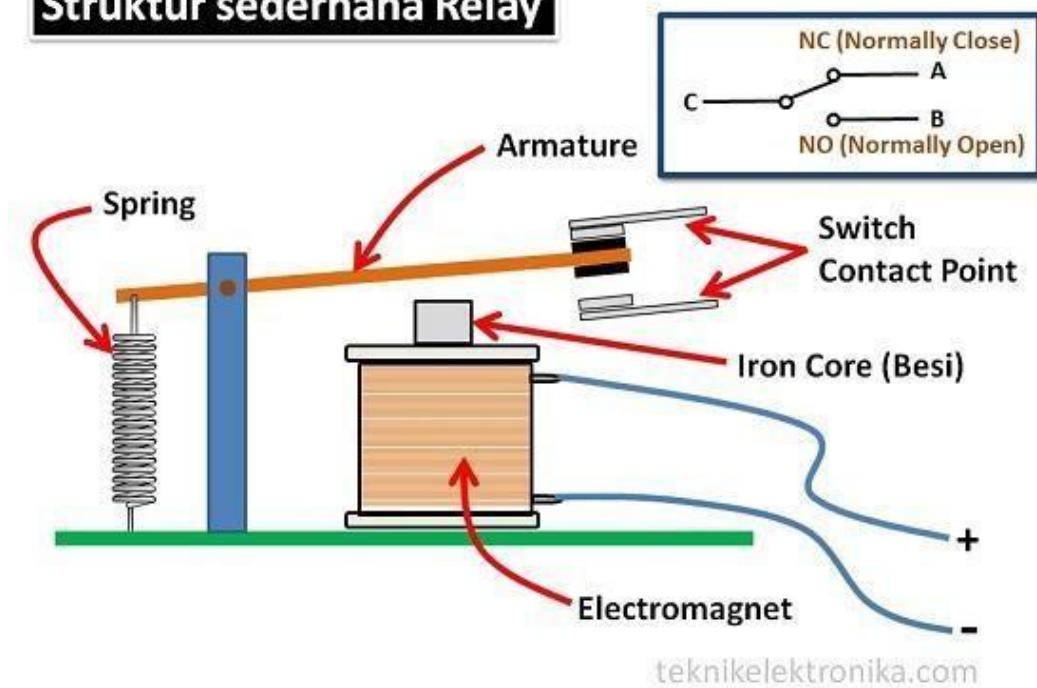


Gambar 3. 62. Bentuk dan simbol Relay[35]

Pada dasarnya, Relay terdiri atas empat komponen utama, yaitu:

1. Elektromagnet (*coil*)
2. *Armature*
3. *Switch Contact Point* (saklar)
4. *Spring*

Struktur sederhana Relay



teknikelektronika.com

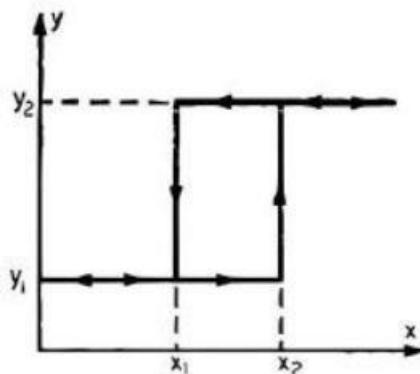
Gambar 3. 63. Struktur Relay[35]

Contact Point Relay terdiri atas dua jenis, yaitu:

1. *Normally Close (NC)*, yaitu kondisi awal ketika Relay belum diaktifkan berada di posisi *CLOSE* (tertutup)
2. *Normally Open (NO)*, yaitu kondisi awal ketika Relay belum diaktifkan berada di posisi *OPEN* (terbuka)

Coil yang melilit besi berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Ketika *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik Armature untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NO) ke posisi selanjutnya (NC) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantar arus listrik.

B. Karakteristik



Gambar 3. 64. Model karakteristik relay[37]

Saat nilai x berada di antara nilai x_1 sampai dengan x_2 nilai output y akan tetap konstan dan tetap bernilai y_1 . Waktu sesaat ketika nilai $x = x_2$ adalah waktu yang menyebabkan nilai output y menjadi $y = y_2$. Pertambahan nilai kuantitas x di atas nilai x_2 tidak akan menyebabkan perubahan kuantitas output y .

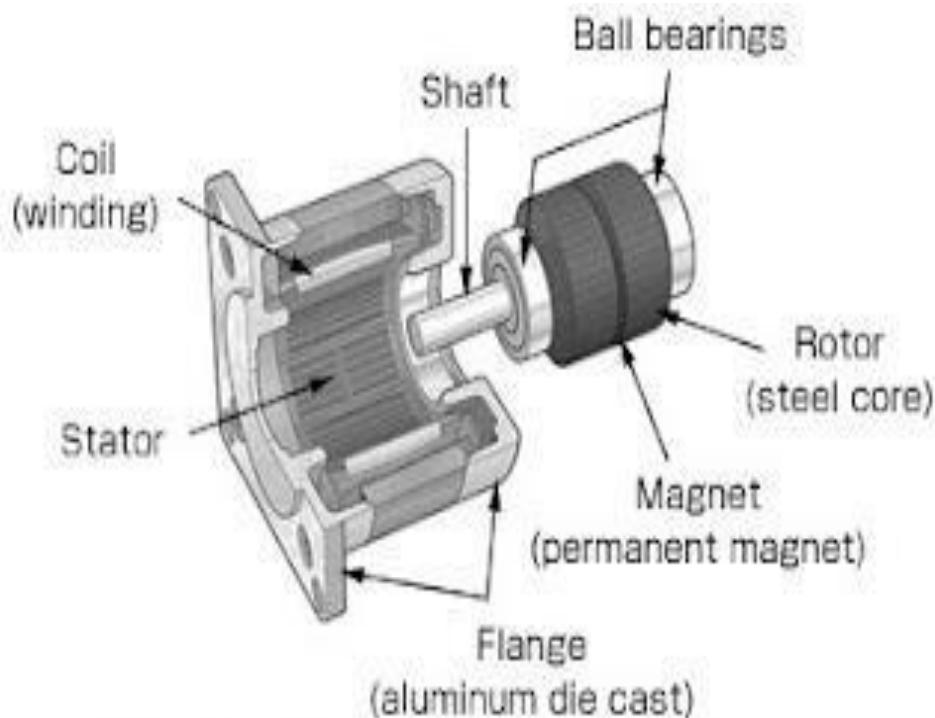
Operasi pada *relay* berdasar kepada fenomena perubahan kuantitas output y saat nilai x mencapai $x = x_2$. Nilai x_2 disebut sebagai nilai operasi atau *operating value*. Saat nilai kuantitas input kembali menjadi $x = x_1$, fenomena yang terjadi adalah perubahan kuantitas output y disebut sebagai *release* dan nilai x_1 disebut sebagai *release value* dari *relay*. Rasio antara *release value* dengan *operating value* disebut sebagai *reset coefficient* [37].

30. Motor Stepper

A. Fenomena Fisis

Motor stepper adalah sebuah aktuator yang merubah energi listrik menjadi energi mekanik (putar). Motor stepper merupakan jenis motor sinkron yang berputar selangkah demi selangkah atau *step-by-step* sesuai dengan nama asalnya, yaitu *step* (diskrit). Motor ini pada umumnya menggunakan jenis motor yang tidak menggunakan sikat atau *brushless motor*. Torsi pada motor ini tidak sebesar motor DC namun motor jenis ini memiliki tingkat presisi yang tinggi dalam putarannya.

Masukan dari motor ini adalah pulsa-pulsa digital. Motor stepper memiliki kontruksi yang sama dengan motor listrik pada umumnya, yaitu memiliki rotor dan stator. Salah satu jenis stator terbuat dari logam yang terdapat belitan di sekelilingnya. Belitan ini tidak dililitkan pada seluruh bagian stator, namun dibelitkan secara individu pada gigi stator, sehingga lebih mirip motor *brushless*. Belitan inilah yang terhubung pada masukan dan diberikan pulsa digital.[38] Rotor terbuat dari magnet permanen atau variabel reluktansi bijih besi berupa besi lunak [39]. Rotor akan merespon medan magnet pada belitan stator dan bergerak sesuai sudut *step*-nya. Motor stepper dapat diatur posisinya tanpa mekanisme umpan balik (*feedback*) [40].



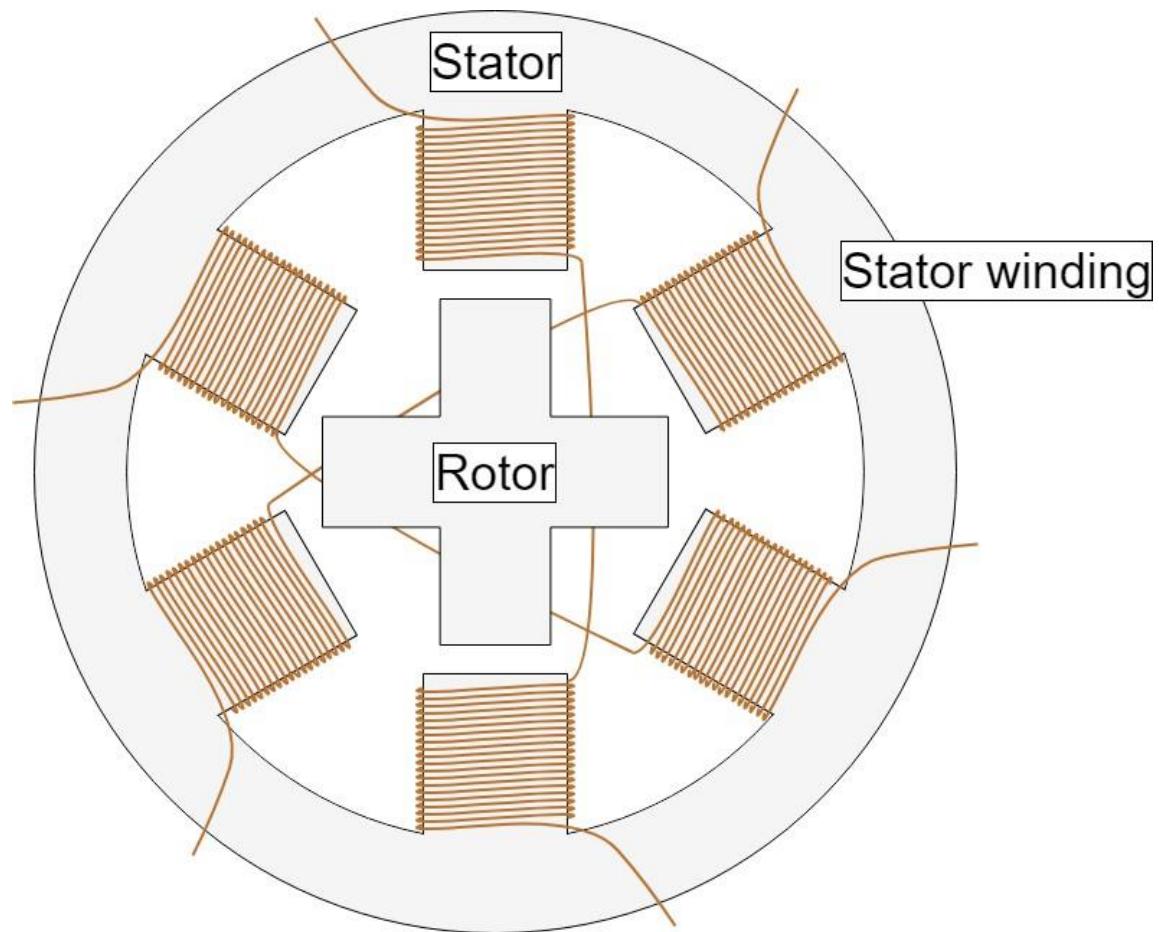
Gambar 3.65. Konstruksi motor stepper (Sumber: electricaltechnology.org).

B. Jenis Motor Stepper

Berdasarkan struktur rotor dan statornya, terdapat 3 jenis motor stepper, yaitu *Variable Reluctance* (VR), *Permanent Magnet* (PM), dan *Hybrid*.

1. *Variable Reluctance* (VR)

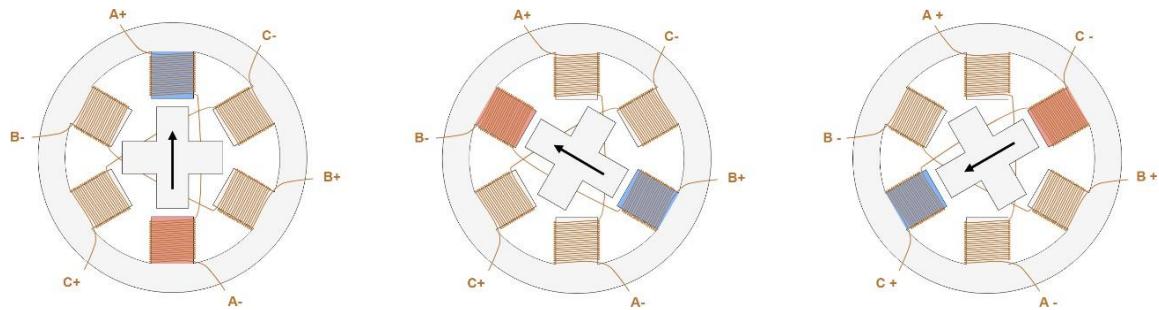
Motor jenis ini merupakan jenis motor stepper yang paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri dari sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan pada *stator* [41]. Stator terdiri dari beberapa belitan yang terhubung langsung dengan masukan. Belitan inilah yang menentukan sudut *step* pada motor. Rotasi pada motor terjadi ketika gerigi rotor ditarik ke kutub stator akibat pulsa digital yang diberikan. Pulsa digital membawa daya listrik sehingga menimbulkan medan elektromagnetik pada kumparan stator. Magnet pada stepper tipe VR lebih kecil dan ringan dibandingkan jenis permanen magnet, sehingga dapat bergerak lebih cepat [40]. Gambar 3.66 dibawah ini menunjukkan konstruksi motor stepper jenis *variable reluctance* secara umum [39].



Gambar 3.66. Konstruksi motor stepper jenis *variable reluctance*.

Prinsip kerja jenis motor stepper ini adalah dengan memberikan energi satu atau lebih fase pada stator, medan magnet terbentuk dikarenakan adanya aliran arus listrik pada

lilitan dan rotor sejajar dengan medan magnet tersebut. Dengan memberikan perbedaan fase secara berurutan atau bergantian, rotor dapat berputar dengan sudut tertentu hingga mencapai posisi akhir yang ditentukan pabrikan [39]. Gambar 3.67 dibawah ini merupakan representasi prinsip kerja motor stepper.

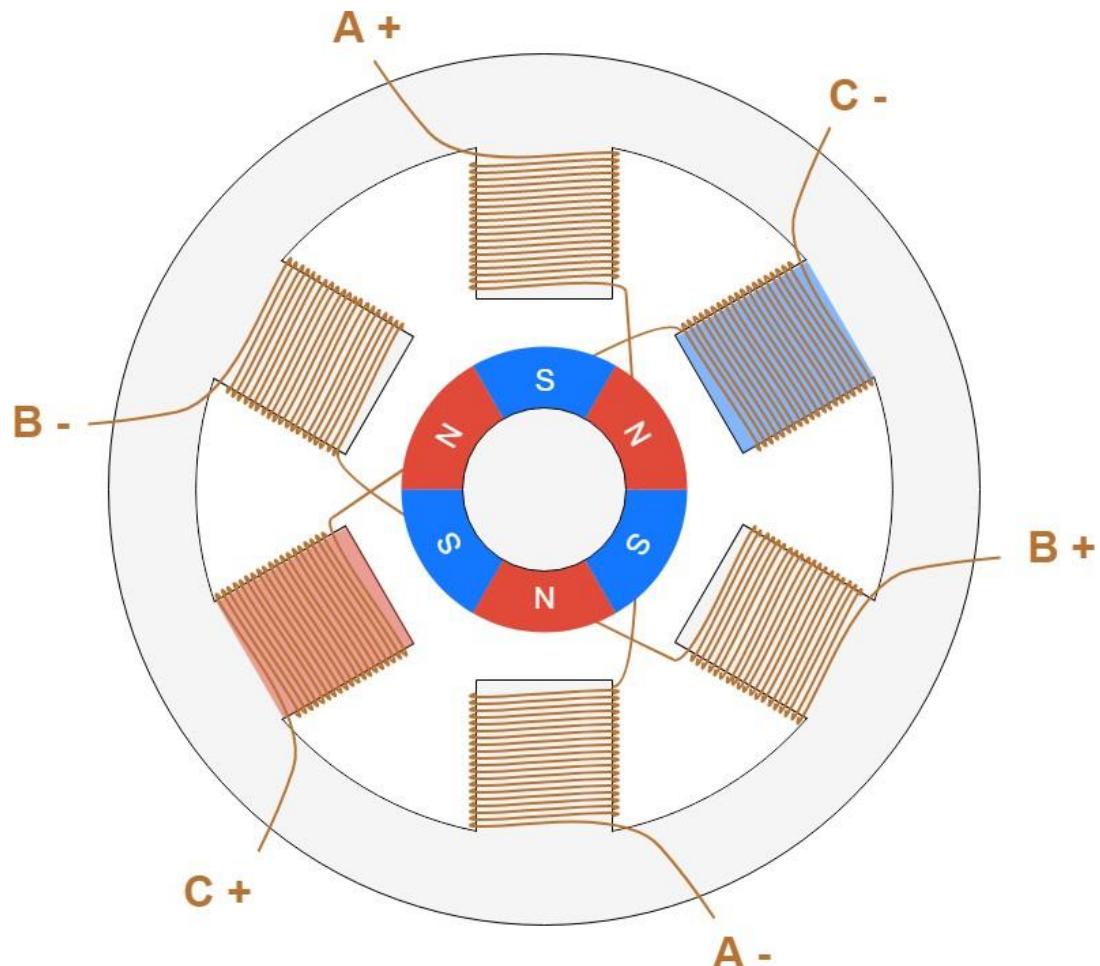


Gambar 3.67. Prinsip kerja motor stepper jenis *variable reluctance*.

Berdasarkan Gambar 3.67, pada bagian awal, lilitan A diberi energi listrik dan rotor akan sejajar dengan medan magnet yang dihasilkan. Ketika lilitan B diberi energi listrik, rotor akan berputar searah jarum jam sebesar 60° agar sejajar dengan medan magnet baru. Hal yang sama terjadi ketika lilitan C dan seterusnya apabila diberikan energi listrik. Medan magnet yang dihasilkan oleh lilitan (*winding*) pada stator ditunjukkan dengan diberikan perbedaan warna pada Gambar 3.67 [39].

2. Rotor Permanen Magnet

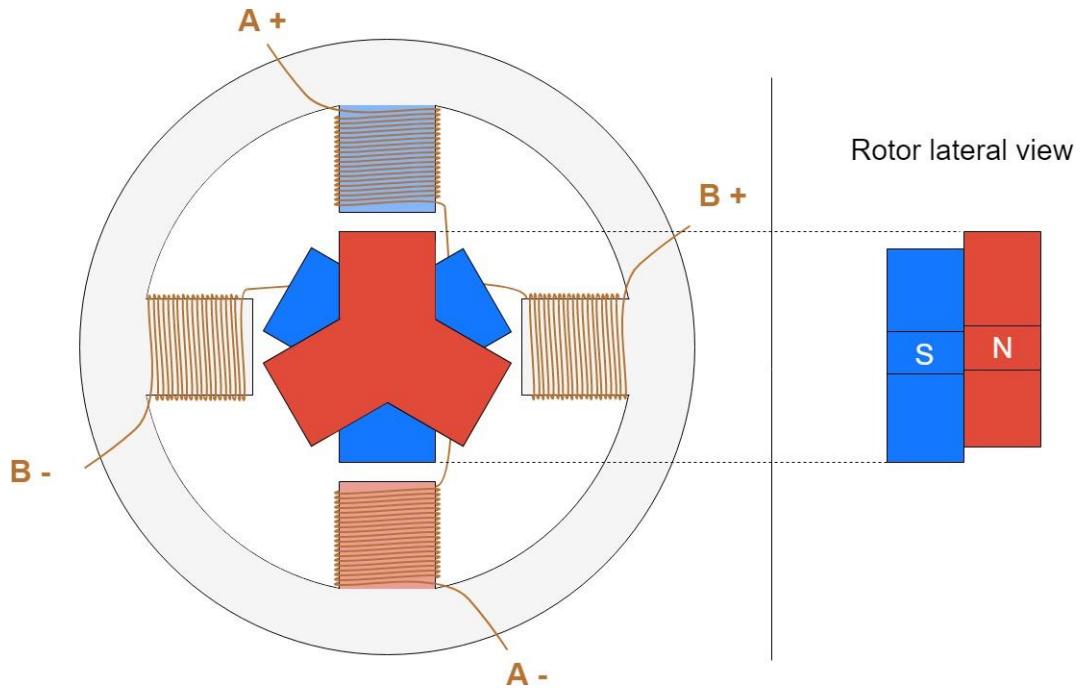
Jenis lain dari motor stepper adalah rotor yang terbuat dari lapisan permanen magnet. Rotor tersebut akan sejajar dengan medan magnet yang dihasilkan oleh rangkaian stator [39]. Motor stepper tipe permanen magnet tidak memiliki gerigi pada rotornya. Kutub magnet yang berlawanan akan ditempatkan secara selang-seling pada magnet. Motor stepper jenis ini memiliki langkah (*step*) yang pendek dengan sudut antar langkahnya adalah $7,5^\circ$ hingga 15° atau 24 hingga 48 langkah untuk mencapai satu putaran penuh (360°) [42]. Stepper permanen magnet menggunakan magnet dengan *alternating north* dan kutub selatan dengan garis lurus yang sejajar dengan poros rotor [40]. Kekurangan motor stepper jenis ini adalah kecepatan rotasi dan resolusi rotor yang lebih rendah dibandingkan motor stepper tipe lain [39]. Gambar 3.68 dibawah ini menunjukkan representasi bagian dari stepper motor tipe permanen magnet.



Gambar 3.68. Konstruksi motor stepper jenis permanen magnet.

3. Stepper Hybrid

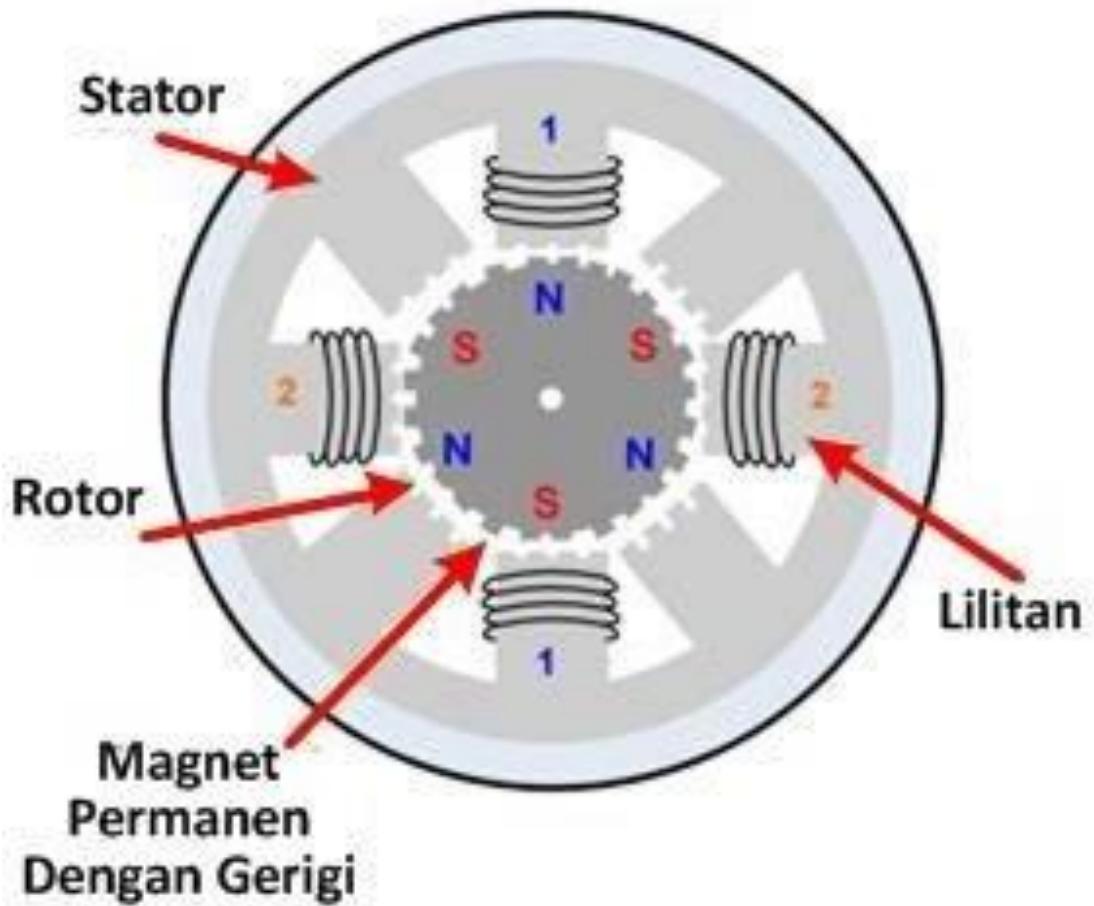
Stepper hybrid adalah gabungan dari dua jenis stepper, yaitu *Variable Reluctance* dan Permanen Magnet. Tujuannya adalah untuk memberikan daya maksimum dalam kemasan yang kecil. Rotor pada stepper jenis ini memiliki *multi-gerigi* seperti tipe VR dan berisi magnet konsentrik aksial disekitar porosnya. Stepper jenis ini dapat menghasilkan sudut *step* yang tinggi, antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ setiap *step*-nya. Artinya, diperlukan 100 hingga 400 langkah untuk poros motor mencapai satu putaran penuh (360°) [40]. Gambar 3.69 dibawah ini menunjukkan contoh struktur motor stepper hybrid yang telah disederhanakan.



Gambar 3.69. Konstruksi motor stepper jenis hybrid yang telah disederhanakan.

Prinsip kerjanya adalah ketika lilitan A diberi energi listrik, gerigi dari tutup magnet kutub utara (N) akan sejajar dengan gerigi stator yang berikututub selatan (S). Pada saat yang sama, karena struktur rotor, gerigi magnet kutub selatan (S) akan sejajar dengan stator yang geriginya berikututub utara (N) [39].

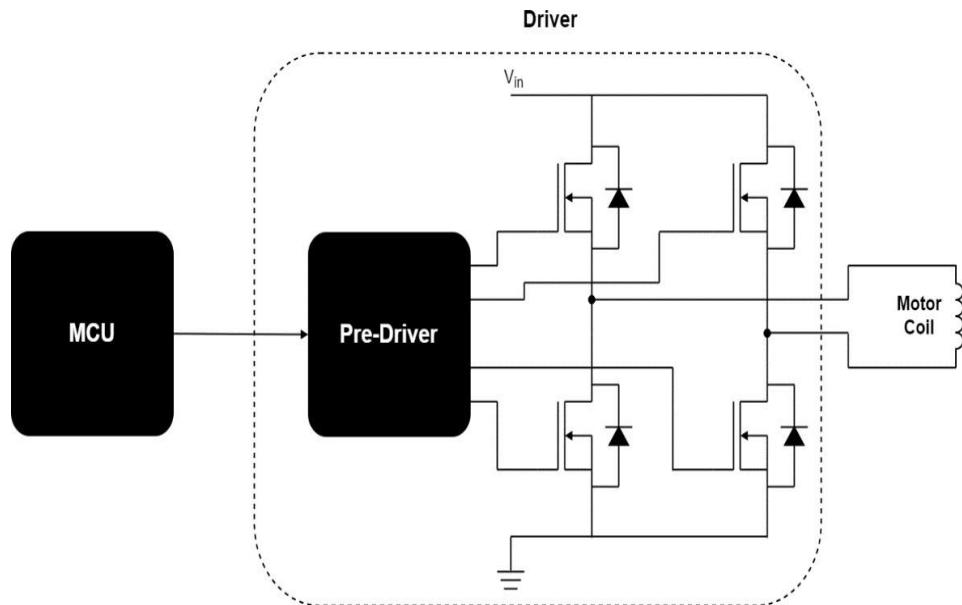
Motor Stepper Hybrid



Gambar 3.70. Struktur motor stepper jenis hybrid.

C. Pengendali Motor Stepper

Lilitan motor stepper perlu diberi energi listrik, dalam urutan tertentu, untuk menghasilkan medan magnet agar rotor sejajar dengannya. Terdapat IC Driver motor stepper untuk mengendalikan putaran motor stepper. IC Driver motor stepper terdiri dari beberapa komponen yang dapat ditunjukkan pada Gambar 3.71 di bawah ini [39].



Gambar 3.71. Pengendali motor stepper sederhana 1.

Gambar 3.71 menunjukkan skema dalam IC Driver motor stepper sederhana. Skema rangkaian tersebut terdapat beberapa rangkaian elektronika, yaitu [39]:

- 1) Jembatan transistor adalah perangkat fisik yang mengendalikan hubungan aliran listrik pada lilitan motor. Ketika transistor dalam kondisi tertutup, sambungan lilitan tersambung dengan sumber listrik sehingga terjadi aliran arus listrik pada lilitan motor. Satu jembatan transistor diperlukan untuk setiap putaran fase motor.
- 2) *Pre-Driver* adalah perangkat yang mengendalikan aktivasi transistor, komponen tersebut menyediakan tegangan dan arus listrik yang dibutuhkan rangkaian jembatan transistor. Komponen ini dikendalikan oleh MCU.
- 3) MCU atau biasa disebut dengan *microcontroller unit*, biasanya diprogram oleh pengguna motor stepper untuk menghasilkan sinyal (pulsa digital) tertentu untuk *pre-driver* untuk melayani karakteristik motor yang dibutuhkan.

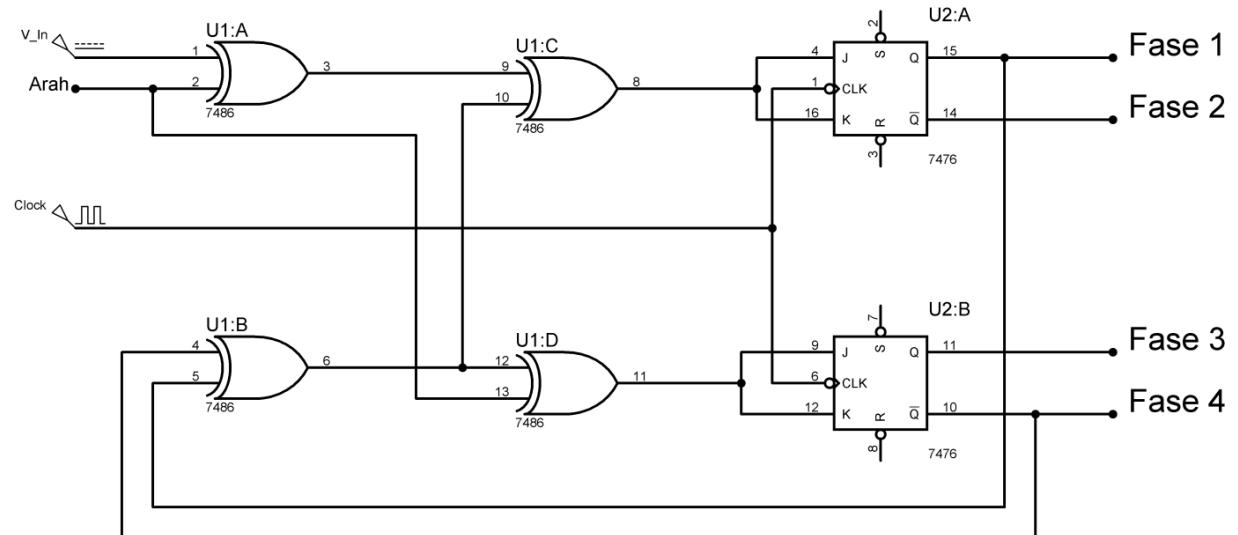
D. Tipe Driver Motor Stepper

Terdapat perbedaan tipe driver motor stepper yang tersedia di pasaran, dengan menunjukkan perbedaan fitur untuk aplikasi tertentu. Pilihan yang paling umum adalah sebagai berikut [39]:

Step/Direction – Dengan memberikan pulsa pada pin *Step*, driver akan merubah keluaran sehingga motor akan berjalan secara *step*, arah putaran motor ditentukan oleh level pada pin *Direction*.

Fase / Enable – Untuk setiap dinding stator, fase menentukan arah arus dan memicu Enable jika fase diberi energi listrik.

PWM – Mengendalikan secara langsung sinyal *gate* pada sisi *Low* dan *High* FET.



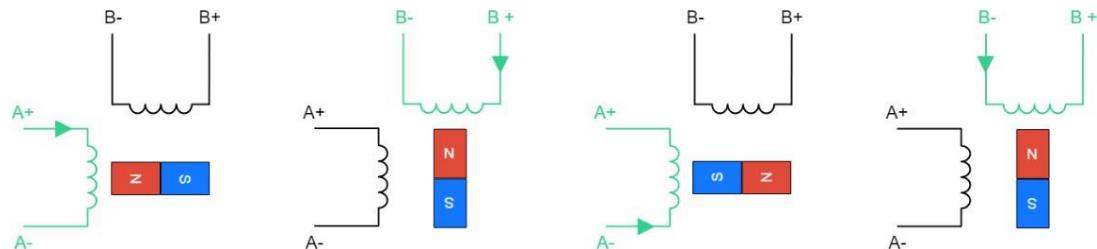
Gambar 3.72. Rangkaian dasar pengendali motor stepper.

Cara kerja rangkaian pada Gambar 3.72 adalah arah putaran motor dapat diatur dengan mengatur kondisi logika masukan pena 13. Jika diterapkan logika 0 (nol), maka motor akan berputar berlawanan arah jarum jam sedangkan jika diterapkan logika 1 (satu), maka motor akan berputar dengan arah sesuai dengan arah jarum jam. Kecepatan motor ditentukan oleh frekuensi masukan clock yang berbentuk gelombang kotak. Pulsa clock ini dibangkitkan oleh rangkaian pembangkit gelombang (osilator) yang diberikan ke input clock rangkaian [43].

E. Metode Pengendalian Motor Stepper

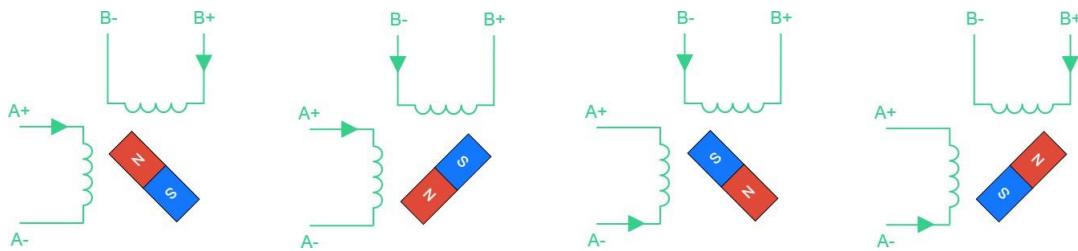
Untuk menggerakkan setiap step pada motor stepper terdapat beberapa metode seperti berikut ini,

1. *Wave Mode*: Hanya satu fase yang berenergi listrik. (lihat Gambar 3.73 di bawah ini). Sederhananya adalah arus mengalir dalam arah positif jika arus mengalir dari fase kutub positif ke fase kutub negatif (contohnya adalah dari A+ ke A-), sebaliknya, arahnya akan negatif. Berawal dari kiri, arus mengalir hanya di fase A dalam arah yang positif dan rotor, yang direpresentasikan dengan magnet, sejajar dengan medan magnet yang terbentuk pada stator. Langkah selanjutnya, arus hanya mengalir di fase B dalam arah yang positif, dan rotor berputar 90° searah jarum jam untuk sejajar dengan medan magnet baru yang terbentuk pada fase B. Kemudian, fase A berenergi listrik kembali, tetapi aliran arus dalam arah yang negatif, dan rotor berputar kembali sebesar 90° . Langkah terakhir, arus mengalir dengan arah negatif pada fase B dan rotor kembali berputar sebesar 90° [39].



Gambar 3.73. Pengendalian motor stepper menggunakan metode *wave mode*.

2. *Full Step*: Motor beroperasi dengan dua fase berenergi dalam satu waktu yang bersamaan. Gambar 3.74 di bawah ini menunjukkan langkah kerja metode ini. Langkahnya mirip dengan metode *wave mode*, perbedaan yang paling signifikan adalah motor dapat menghasilkan torsi yang lebih tinggi karena arus yang mengalir lebih banyak dan medan magnet pada stator yang dihasilkan lebih besar. Daya yang dibutuhkan metode ini untuk menjalankan driver adalah yang paling sedikit dibandingkan metode lain. Contoh sinyal masukan pada metode *full step* dapat dilihat pada tabel 3.74[39].

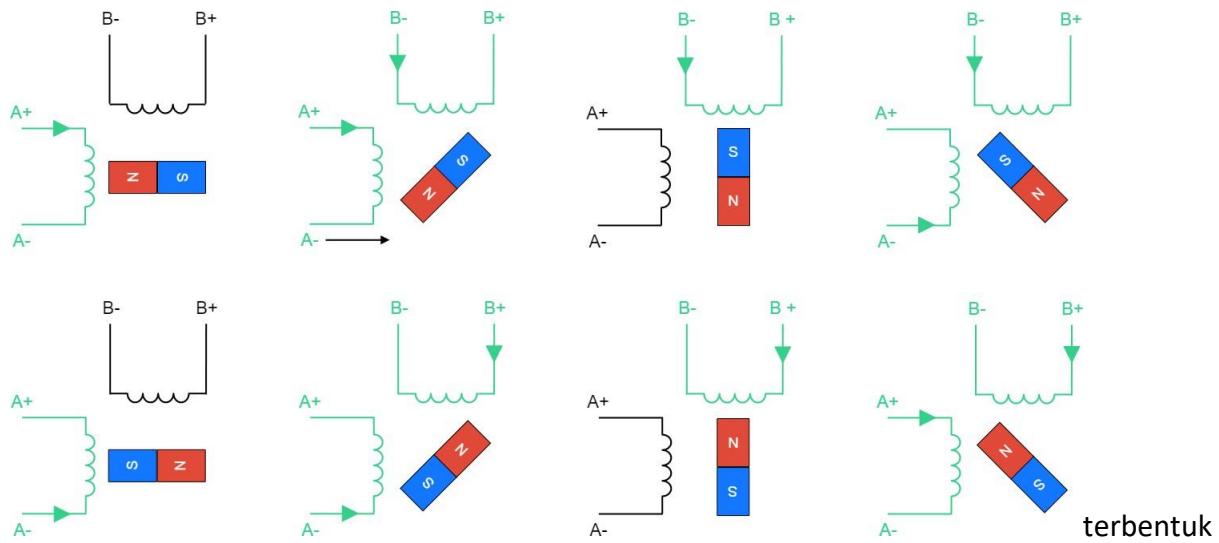


Gambar 3.74. Cara kerja pengendali motor stepper metode *full step*.

Tabel 3.22. Contoh masukan metode full step.

	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4
NA	0	1	1	1
NB	1	0	1	1
NC	1	1	0	1
ND	1	1	1	0

3. *Half Step Mode* adalah kombinasi metode *wave* dengan metode *full step* (Lihat Gambar 3.75 di bawah ini). Menggunakan kombinasi menghasilkan ukuran *step* dapat dikurangi sebesar setengahnya (dalam kasus ini, besar setiap *stepnya* adalah 45° yang sebelumnya sebesar 90°). Salah satu kekurangan metode ini adalah torsi yang dihasilkan motor tidak konstan, karena torsi yang lebih besar ketika kedua kutub fase diberi energi, dan lebih rendah ketika hanya satu fase yang diberi energi listrik [39].



Gambar 3.75. Pengendali motor stepper menggunakan metode *half wave*.

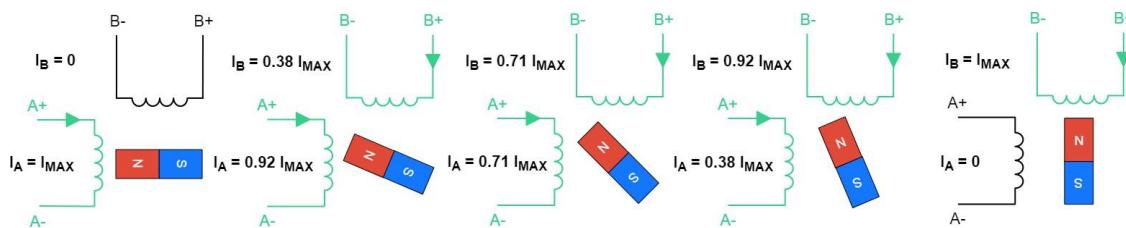
Contoh sinyal masukan pada *half wave* padat dapat dilihat pada Tabel 3.23 [40].

Tabel 3.23. Masukan Digital Metode Half Wave.

	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4
NA	0	1	1	1
NB	0	0	1	1
NC	1	0	1	1
ND	1	0	0	1
NA	1	1	0	1
NB	1	1	0	0
NC	1	1	1	0
ND	0	1	1	0

4. *Microstepping* – adalah bentuk pengembangan dari metode *half wave*, karena metode

ini menghasilkan pengurangan ukuran *step* dan dapat mencapai torsi motor yang konstan. Pencapaian ini dapat terjadi oleh pengendalian intensitas aliran arus pada setiap fasenya. Menggunakan metode ini membutuhkan driver motor yang lebih kompleks dibandingkan metode-metode sebelumnya. Gambar 3.76 di bawah ini menunjukkan cara kerja metode *microstepping*. Jika I_{max} adalah arus maksimum yang dapat mengalir pada fase, mulai dari paling kiri, dalam gambar paling kiri, $I_A = I_{max}$ dan $I_B = 0$. Pada langkah berikutnya, arus dikendalikan untuk mencapai nilai $I_A = 0,92 \times I_{max}$ dan $I_B = 0,38 \times I_{max}$, menghasilkan medan magnet yang akan memutar rotor sebesar $22,5^\circ$ searah jarum jam dibandingkan sebelumnya. Langkah tersebut berulang dengan nilai arus yang berbeda-beda untuk mencapai kondisi rotor berputar sebesar 45° , $67,5^\circ$, dan 90° . Hal tersebut menyebabkan kemampuan untuk mengurangi ukuran *step* sebesar setengahnya metode *half wave*, namun memungkinkan untuk nilai pengurangannya lebih besar lagi. Penggunaan metode ini akan menghasilkan resolusi posisi motor yang tinggi, namun hal tersebut akan menyebabkan tingkat kompleksitas driver untuk mengendalikan motor meningkat, dan semakin rendah torsi yang dihasilkan setiap *stepnya*. Bahkan, torsi akan sebanding dengan nilai sinus sudut antara medan magnet stator dan medan magnet rotor, sehingga, semakin kecil *step* yang dapat dihasilkan motor stepper metode ini maka semakin rendah pula torsi setiap *stepnya* [39].



Gambar 3.76. Cara kerja pengendali motor stepper metode microstepping.

F. Karakteristik

Motor stepper unipolar yang digunakan memiliki tipe jenis 28BYJ-48. Motor stepper ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

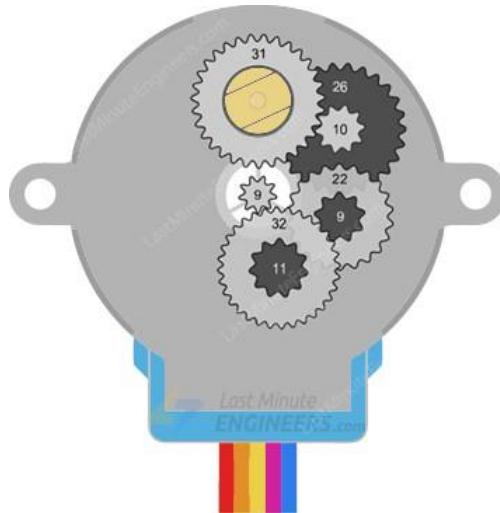
Tabel 3.24. Karakteristik Motor Stepper Unipolar Tipe 28BYJ48 [44], [45].

No. of Phase	4	Voltage	5 - 12VDC
Current	40mA	Resistance	300Ω
Step Angle	5,625° (Half step mode): 8 step control signal sequence 5,625° per step or 64 steps per one revolution of the internal motor shaft 11,25° (Full step mode): 4 step control signal sequence 11,25° per step or 32 steps per one revolution of the internal motor shaft	Reduction Ratio Weight	64:1 30 g
No-load pull-out frequency	1000 pps	No-load pull-in frequency	500 pps
Pull-in Torque		≥29,4mN.m	
Wiring Indications		A (orange), B (Yellow), C (Blue), D(Grey), and E (red, mid-point)	

Motor stepper ini memiliki 4 lilitan kabel yang memberi daya secara bergantian agar poros rotor motor dapat berputar. Ketika menggunakan mode *full step*, 2 dari 4 lilitan diberi daya setiap langkah (*stepnya*). Metode ini digunakan sebagai standar bawaan *library* motor stepper. Datasheet 28BYJ-48 menjelaskan secara jelas bahwa direkomendasikan menggunakan metode *half step*, di mana, hanya lilitan pertama yang diberi daya, kemudian lilitan pertama dan kedua, dan seterusnya [45].



Gambar 3.77. Motor Stepper tipe 28BYJ-48 [43].



Gear Ratios:

- 32 / 9
- 22 / 11
- 26 / 9
- 31 / 10

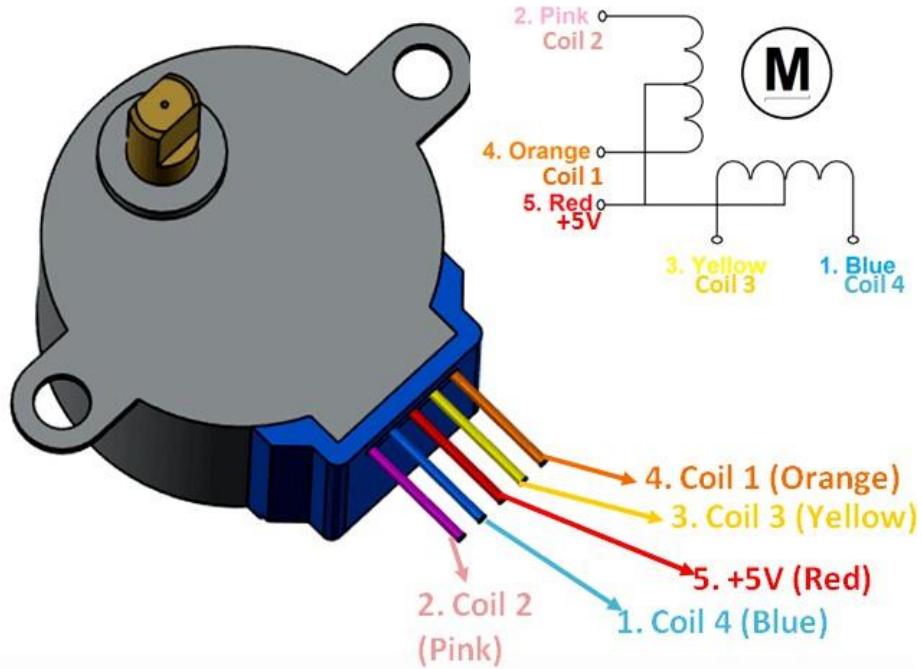
Multiplying the gear ratios:

$$\frac{32}{9} \times \frac{22}{11} \times \frac{26}{9} \times \frac{31}{10} = 63.68395$$

Round 63.68395 up: 64

This gives us a 64:1 gear ratio over all

Gambar 3.78. Gear Ratio Motor Stepper Unipolar Tipe 28BYJ-48.



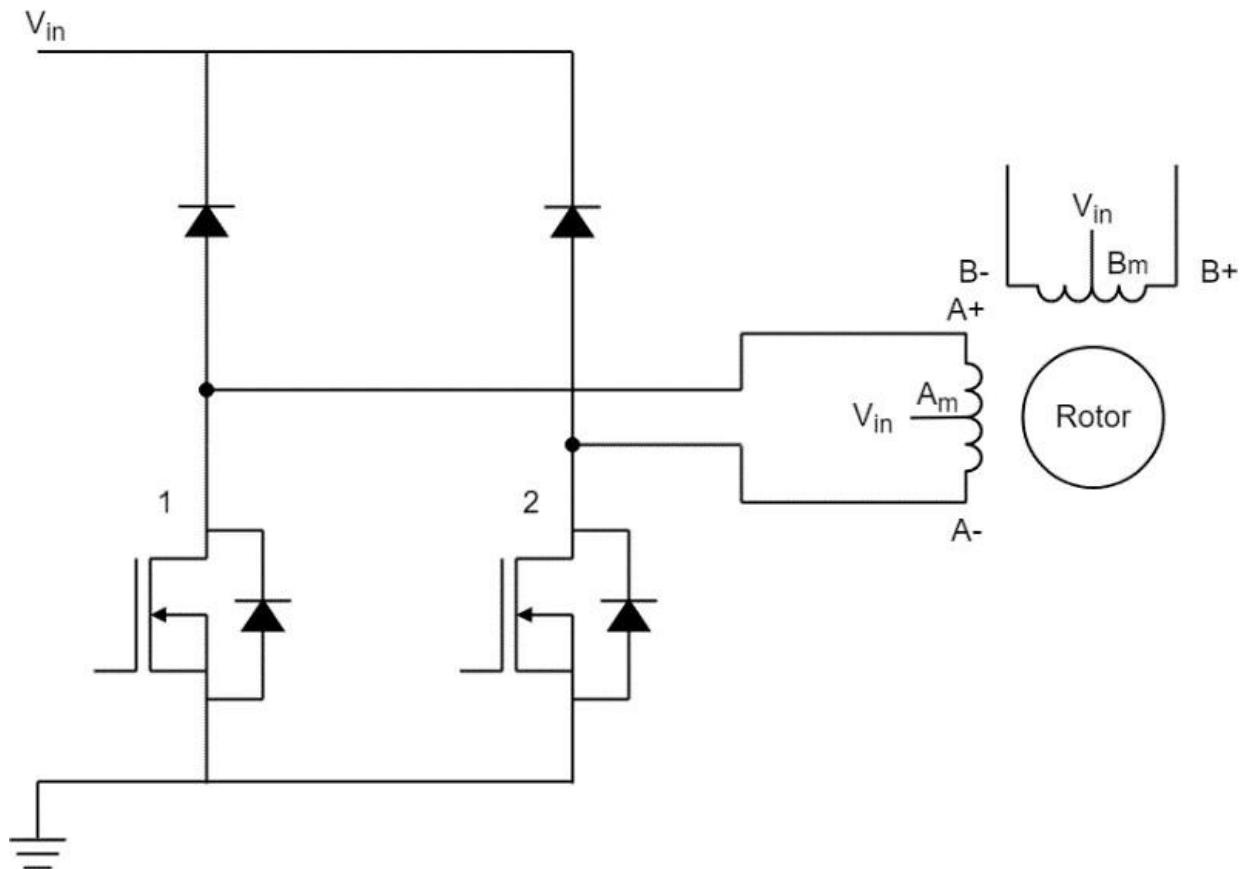
Gambar 3.79. Wiring Motor Stepper Unipolar 28BYJ-48 [33].

Gambar 3.79 menunjukkan perkabelan lilitan motor stepper unipolar tipe 28BYJ-48. Terdapat 4 buah lilitan, dan salah satunya (kabel warna merah) dan ujung kabel lainnya (jingga, merah muda, kuning, dan biru) sebagai kabel keluaran motor stepper. Kabel merah selalu terhubung dengan masukan tegangan listrik +5V dan tegangan tersebut akan tersebar (menyalurkan energi listriknya) ke lilitan lain jika ujung lilitan lainnya terhubung dengan *ground*. Motor stepper hanya dapat berputar jika lilitan

selain kabel sumber tegangan diberi energi listrik (*grounded*) dalam logika yang berurutan. Urutan logika tersebut dapat diprogram menggunakan mikrokontroler atau dengan merancang rangkaian digital. Urutan yang harus terpenuhi pada setiap lilitan yang dipicu dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Disini logika “1” (satu) merepresentasikan lilitan diberi tegangan sebesar +5V, karena kedua ujung kabel memiliki tegangan +5V (kabel merah dan ujung kabel lainnya) lilitan tidak memiliki energi listrik. Logika “0” (nol) merepresentasikan lilitan tersambung dengan *ground*, sehingga salah satu ujung kabel lilitan bernilai +5V dan ujung lainnya tersambung dengan *ground* sehingga terdapat energi atau arus listrik pada lilitan tersebut [33].

Tabel 3.25. Hubungan pemberian energi pada setiap kabel terhadap step yang terjadi pada motor.

Warna kabel motor	Urutan untuk memutar motor searah jarum jam							
	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6	Step 7	Step 8
Jingga	0	0	1	1	1	1	1	1
Kuning	1	0	0	0	1	1	1	1
Merah Muda	1	1	1	0	0	0	1	
Biru	1	1	1	1	1	0	0	
Merah	1	1	1	1	1	1	1	



Gambar 3.80. Rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe unipolar.

Gambar 3.80 menunjukkan sebuah rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe unipolar. Motor stepper tipe unipolar pada salah satu ujung lilitannya terhubung dengan titik tengah lilitan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.80. Hal tersebut membuat motor stepper dapat dikendalikan arah arusnya. Titik tengah lilitan (A_M) terhubung dengan tegangan masukan V_{IN} . Jika MOSFET 1 aktif, arus mengalir dari A_M ke $A+$. Jika MOSFET 2 aktif, arus mengalir dari A_M ke $A-$, menghasilkan medan magnet yang arahnya berlawanan. Hal tersebut membuat rangkaian pengendali motor stepper menjadi lebih sederhana (hanya membutuhkan 2 semikonduktor), namun kekurangannya adalah hanya setengah dari total lilitan yang digunakan pada motor ini dalam satu waktu, artinya dalam besar arus yang sama saat mengalir dalam lilitan, medan magnet yang dihasilkan hanya setengah dari medan magnet yang dapat dihasilkan dari satu lilitan penuh [39].

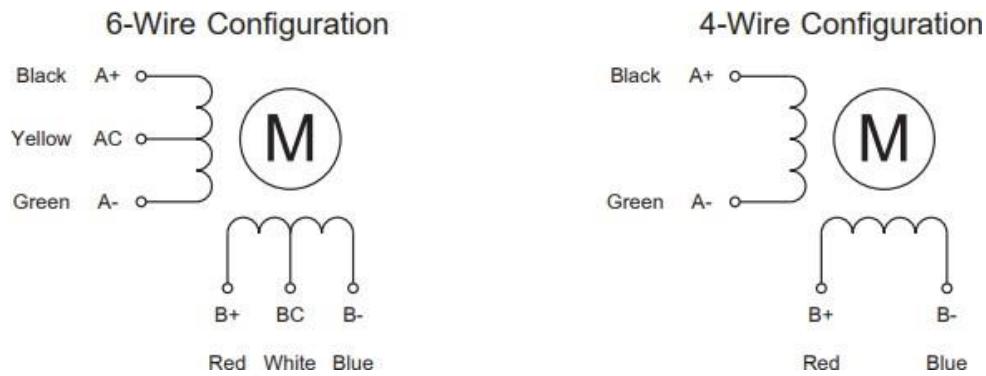
Motor stepper bipolar yang digunakan pada praktikum ini adalah NEMA 17. NEMA adalah singkatan dari *National Electrical Manufacturers Association*, sebuah asosiasi yang menjadi sebuah standar ukuran motor stepper yang banyak digunakan di dunia industri. Standar tersebut digunakan untuk memastikan pergantian suku cadang motor stepper yang digunakan di industri akan muat dan jumlahnya melimpah. Angka NEMA berhubungan langsung dengan ukuran diameter motor yang dikali 10 (sepuluh). Misalkan ukuran motor stepper yang digunakan adalah NEMA 17 maka diameter motor tersebut adalah 1,7 inc [46]. Karakteristik motor stepper tipe NEMA 17 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.26. Karakteristik motor stepper jenis bipolar.

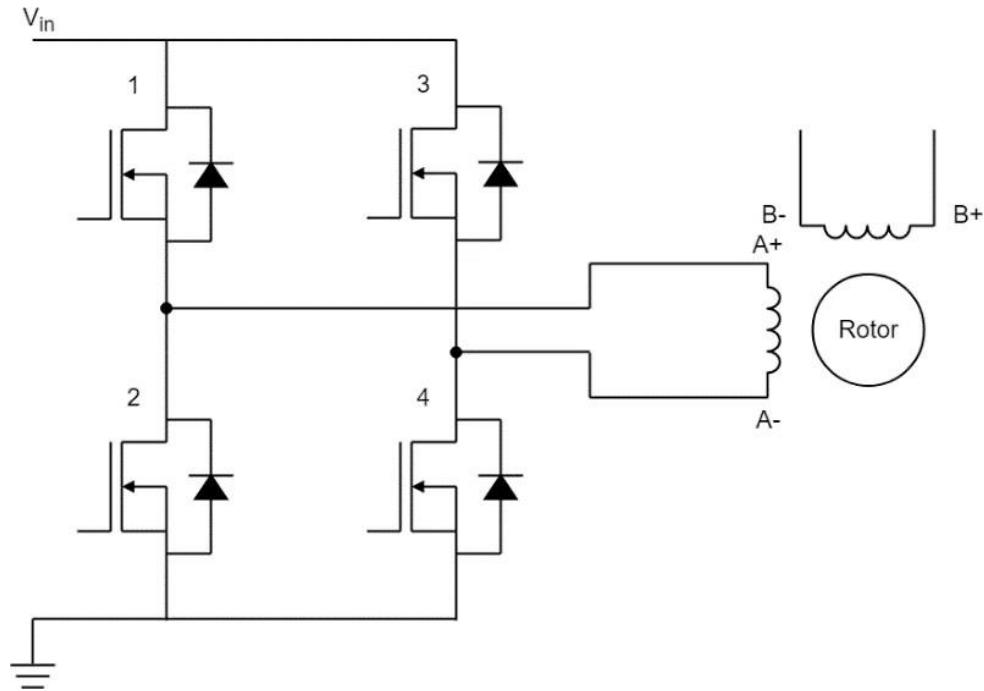
1.5 Amp motors		Single length
Part number		M-1713-1.5 • (1)
Holding torque	oz-in	32
	N-cm	23
Detent torque		1.7
	N-cm	1.2
Rotor inertia		0.000538
	kg-cm ²	0.038
Weight		7.4
	grams	210
Phase current	amps	1.5
Phase resistance	ohms	1.3
Phase inductance	mH	2.1

Tabel 3.27. Warna dan konfigurasi kabel motor stepper jenis bipolar.

Signals and wire colors	
Phase A	Red
Phase /A	Blue
Phase B	Green
Phase /B	Black



Gambar 3.81. Konfigurasi kabel motor stepper tipe bipolar.

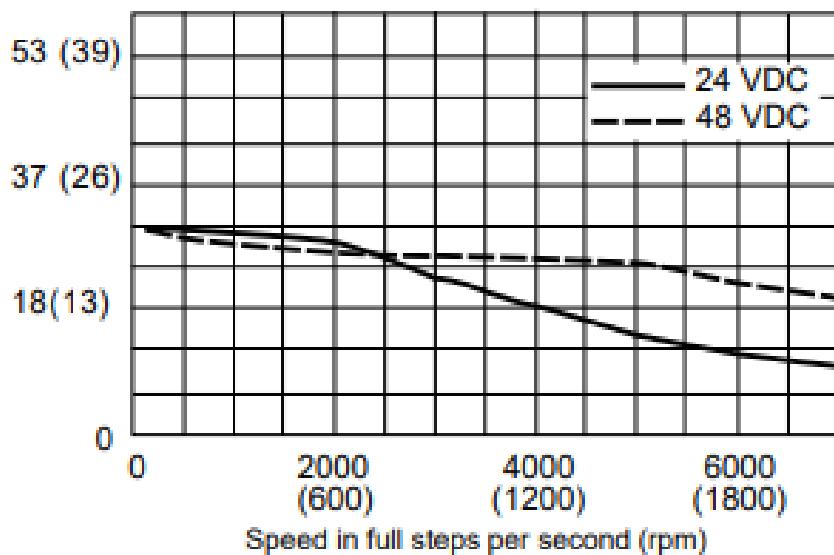


Gambar 3.82. Rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe bipolar.

Gambar 3.82 menunjukkan rangkaian dasar pendendali motor stepper tipe bipolar. Motor stepper tipe bipolar setiap lilitannya hanya tersedia 2 petunjuk, dan untuk mengendalikan arah putaran motor diperlukan penggunaan rangkaian H- bridge. Seperti pada gambar 17, jika MOSFET 1 dan 4 aktif, arus akan mengalir dari A+ ke A-, sementara jika MOSFET 2 dan 3 aktif, arus akan mengalir dari A- ke A+, menghasilkan medan magnet dengan arah yang berlawanan [39].

M-1713-1.5

Torque in oz-in (N-cm)



Gambar 3.83. Hubungan torsi terhadap rotasi per menit motor stepper tipe bipolar.

31. Arduino

Arduino adalah mikrokontroler yang bersifat open-source, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware dalam arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan menggunakan software dan bahasa sendiri. Hardware dalam arduino memiliki beberapa jenis, yang mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam setiap papannya. Penggunaan jenis arduino disesuaikan dengan kebutuhan, hal ini yang akan mempengaruhi dari jenis prosessor yang digunakan. Jika semakin kompleks perancangan dan program yang dibuat, maka harus sesuai pula jenis kontroler yang digunakan. Yang membedakan antara arduino yang satu dengan yang lainnya adalah penambahan fungsi dalam setiap boardnya dan jenis mikrokontroler yang digunakan. Pada praktikum ini secara umum akan digunakan Arduino UNO. Berikut spesifikasi dari Arduino UNO:[47]

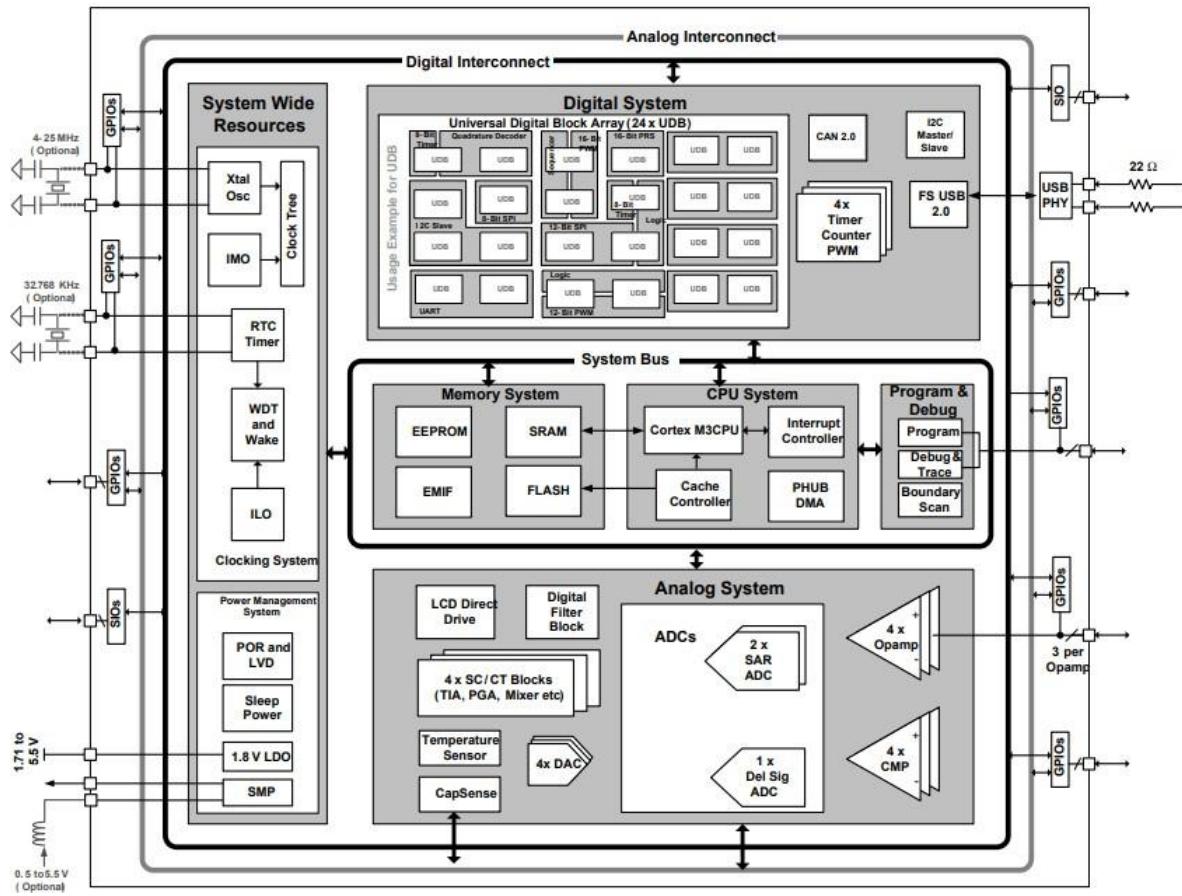
Tabel 3.28. Spesifikasi Arduino UNO.

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5V
Tegangan input yang disarankan	7-12V
Batas tegangan input	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14 (6 di antaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (ATmega328), sekitar 0.5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

32. PSoC

PSoC (Programmable System on Chip) merupakan mikrokontroler IC yang dibuat oleh Cypress Semiconductor. Dalam chip ini terdapat inti CPU dan mixed signal arrays dari perangkat analog dan digital terintegrasi yang dapat diatur. PSoC memiliki suatu set port digital dan analog untuk komunikasi dengan dunia luar. Port digital I/O diatur sebagai input/output, open collector, atau sebagai fast digital ports. Port analog merupakan input atau output dengan impedansi tinggi yang digunakan untuk DACs, ADCs, OP amps, atau instrument penguat lainnya. Hingga saat ini, Cypress Semiconductor telah mengembangkan PSoC 1, PSoC 2, PSoC 3, PSoC 4, PSoC 5 dan PSoC 6. Dalam melakukan konfigurasi dan pemrograman perangkat analog dan digital dilakukan dengan menggunakan PSoC Creator. PSoC Creator merupakan IDE (Intregated Design Environment) berbasis Windows.[48] Dengan menggunakan PSoC Creator, dapat dilakukan pemilihan komponen, penulisan bahas C/assembly serta melakukan debug pada proyek.

Figure 1-1. Simplified Block Diagram



Gambar 3.84. Diagram blok PSoC.

33. Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah sebuah SBC (Single Board Computer) yang awalnya dikembangkan dengan maksud untuk memicu pengajaran ilmu komputer dasar di sekolah-sekolah. Raspberry Pi menggunakan sistem on a chip (SoC) dari Broadcom BCM2835 hingga BCM 2837 (Raspberry Pi 3), juga sudah termasuk prosesor ARM1176JZF-S MHz bahkan 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU untuk Raspberry Pi 3, GPU VideoCore IV dan kapasitas RAM hingga 1 GB . Tidak menggunakan hard disk, namun menggunakan SD Card untuk proses booting dan penyimpanan data jangka panjang. Berikut spesifikasi dari Raspberry Pi 3B[49]

Tabel 3.29. Spesifikasi Raspberry Pi 3B.

Spesifikasi	Keterangan
Soc	BCM2837
Prosesor	1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU
Memory /RAM	1 GB SDRAM 400MHz
GPU	VideoCore IV 3D graphics core
Wireless Adapter/LAN	802.1 In Wireless LAN
Bluetooth	Bluetooth 4.1 (built in), Bluetooth Low Energy(BLE)
GPIO	40 Pin
Port USB	4 USB Ports
Card Stroge	Micro SD card slot (now push-pull rather than push-push)
Jaringan	Ethernet Port
External Audio and Video	Full HDMI port, Camera interface (CSI), Display interface (DSI), Combined 3.5mm audio jack and composite video
Sistem Operassi	Debian GNU/Linux,Fedora, Arch Linux ARM, RISC OS

IV. Percobaan

A. Modul PSI-01: Sistem Sensor Jarak

1. Alat dan Bahan

Tabel 4.1. Alat dan bahan Modul PSI-01.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Oscilloscope	1
2	Function Generator	1
3	Power Supply	1
4	Multimeter	1
5	Project Board	1
6	Kabel Jumper	Secukupnya
7	SRF05	4
8	Sharp GP2D12	4
9	Arduino	1
10	PSoC 5LP	1
11	Meteran	1
12	Cermin	1
13	Kertas Buffalo	1
14	Plastik Sampul Buku	1
15	Gelas Kaca Bening	1
16	Laptop	2

2. Prosedur Praktikum

Percobaan 1:

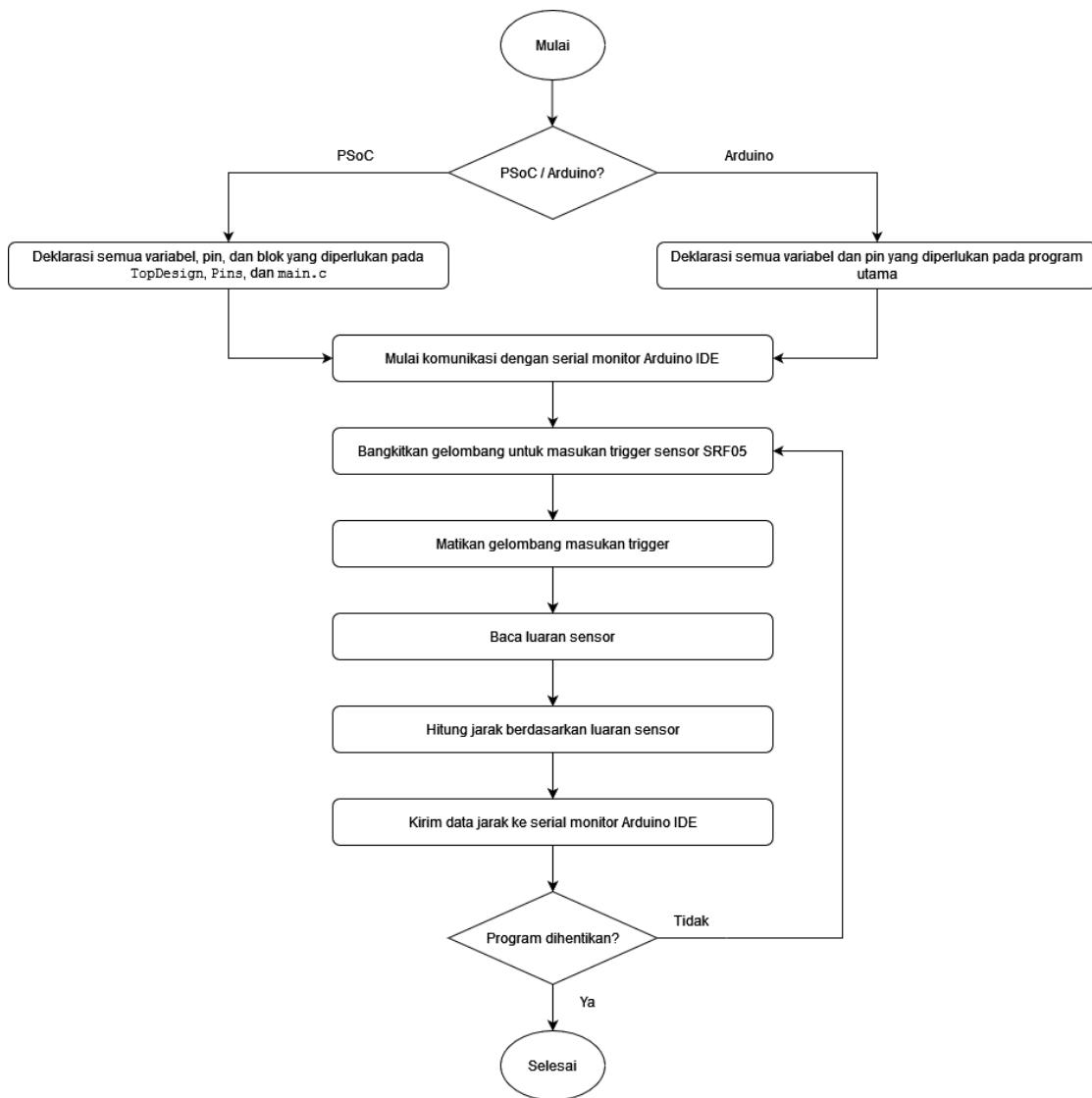
1. Hubungkan kaki Vcc SRF05 ke sumber tegangan 5V dan kaki ground ke ground.
2. Hubungkan kaki Trigger SRF05 ke function generator.
3. Hubungkan Oscilloscope ke kaki Echo dan ground.

4. Atur Function Generator pada 5Vpp dan 40 kHz.
5. Buka aplikasi Arduino IDE atau PSoC Creator pada Laptop dan hubungkan Arduino atau PSoC.
6. Susun source code dan blok yang diperlukan pada aplikasi Arduino IDE atau PSoC Creator sesuai dengan Flowchart pada modul untuk sensor Sharp GP2D12.
7. Upload source code ke Arduino atau build source code ke PSoC sampai berhasil menggunakan laptop
8. Siapkan sebuah program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari Arduino/PSoC ke laptop melalui protokol UART, luaran dari program adalah berkas txt/csv.
9. Letakkan gelas kaca bening pada variasi jarak yang ditentukan.
10. Sensor Sharp GP2D12 dilakukan pengukuran setiap 1 cm dengan variasi jarak 0-50 cm. Sensor SRF05 dilakukan pengukuran setiap 10 cm dengan variasi jarak 0 - 6 m. Amati dan catat hasil yang terbaca pada Oscilloscope untuk SRF05 dan berkas txt/csv untuk Sharp GP2D12.
11. Ulangi prosedur nomor 9 dan 10 untuk kertas buffalo.

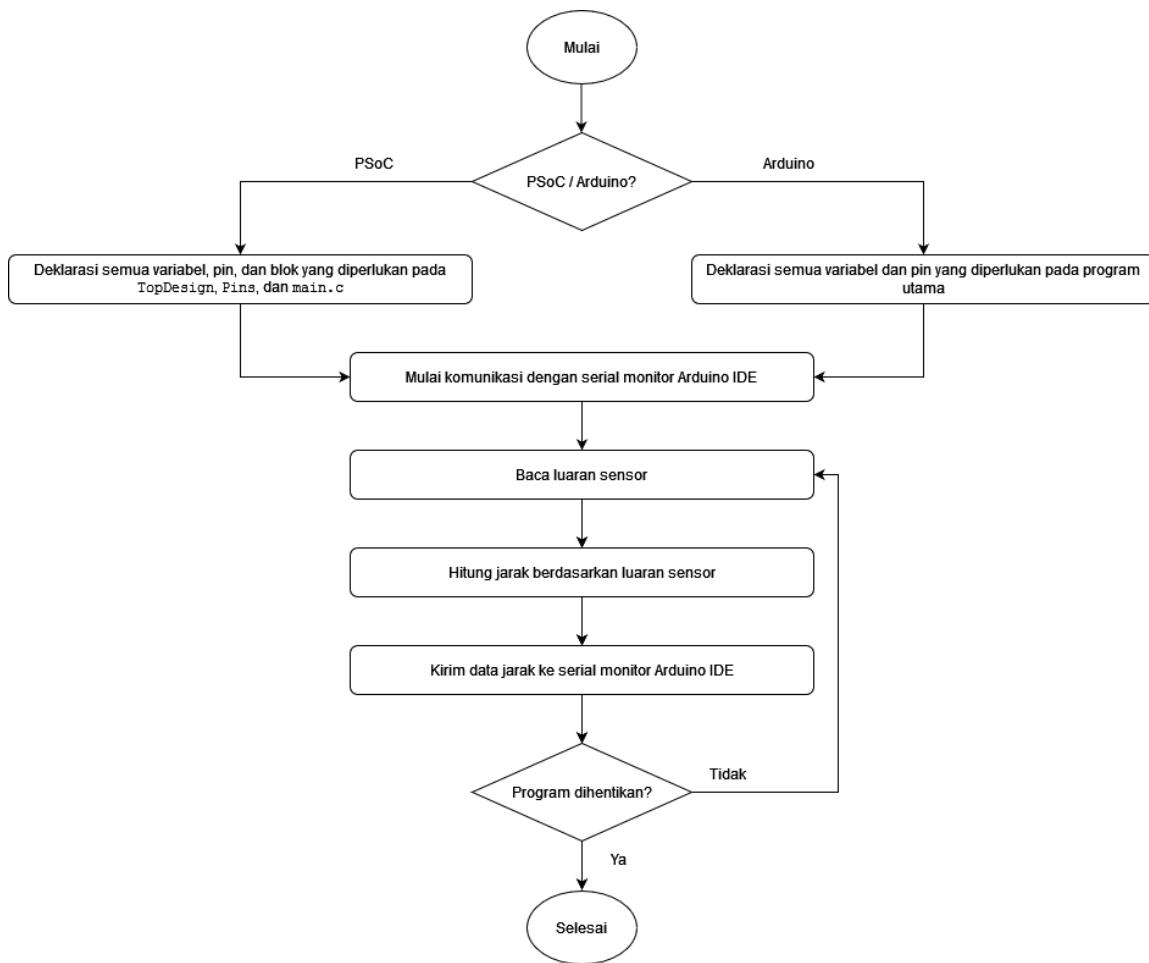
Percobaan 2:

1. Rangkai rangkaian sesuai modul.
2. Buka aplikasi Arduino IDE pada Laptop 1 dan hubungkan Arduino.
3. Buka aplikasi Arduino IDE dan PSoC Creator pada Laptop 2, kemudian hubungkan PSoC.
4. Susun source code pada aplikasi Arduino IDE pada laptop 1 sesuai dengan Flowchart pada modul.
5. Susun source code dan blok yang diperlukan pada PSoC Creator pada laptop 2 sesuai dengan Flowchart pada modul.
6. Upload source code ke Arduino sampai berhasil menggunakan laptop 1.
7. Build source code ke PSoC sampai berhasil menggunakan laptop 2.

8. Siapkan sebuah program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari Arduino/PSoC ke laptop melalui protokol UART, luaran dari program adalah berkas txt/csv.
9. Pada percobaan digital pertama, gunakan Arduino dan halangi sensor dengan plastik sampul buku.
10. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas buffalo yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor Sharp GP2D12 dilakukan pengukuran setiap 1 cm dengan variasi jarak 0-50 cm. Sensor SRF05 dilakukan pengukuran setiap 10 cm dengan variasi jarak 0 - 6 m. Amati dan catat hasil jarak yang didapatkan.
11. Ulangi langkah 9-10 untuk sensor yang berbeda.
12. Lakukan percobaan yang sudah dilakukan dengan mengganti Arduino dengan menggunakan PSoC.
13. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap cermin yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Amati dan catat hasil jarak yang didapatkan.
14. Ulangi langkah 13 untuk sensor yang berbeda.



Gambar 4.1. Diagram Alir SRF05



Gambar 4.2. Diagram Alir Sharp GP2D12

3. Tabel Pengamatan

Tabel 4.2. Tabel Hasil Percobaan 1.

No	Objek			
	Sharp GP2D12		SRF05	
	Jarak Sesungguhnya	Tegangan / Konversi	Jarak Sesungguhnya	Waktu / Konversi
1				
2				
3				
4				
...				

Tabel 4.3. Tabel Hasil Percobaan 2.

No	Kontroler - Objek			
	Sharp GP2D12		SRF05	
	Jarak Sesungguhnya	Jarak Terukur	Jarak Sesungguhnya	Jarak Terukur
1				
2				
3				
...				

B. Modul PSI-02: Sistem Sensor Massa Objek

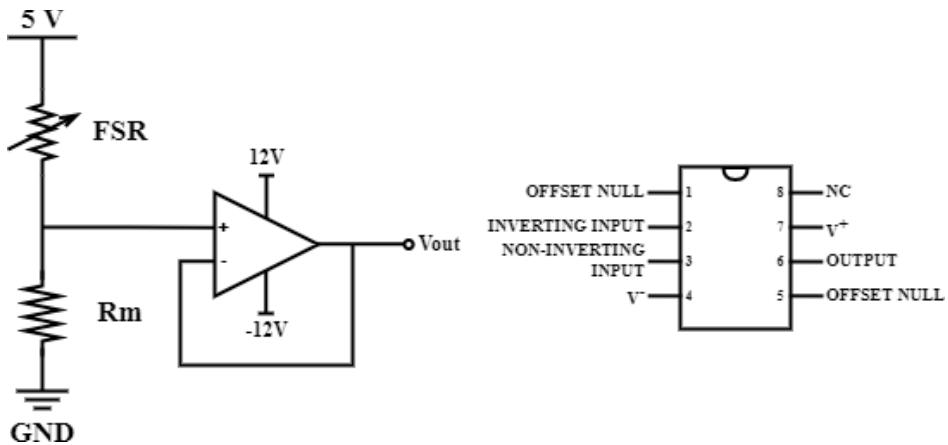
1. Alat dan Bahan

Tabel 4.4. Alat dan bahan Modul PSI-02.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Resistor 3K	4
5	Resistor 10K	4
6	Resistor 30K	4
7	Resistor 100K	4
8	FSR	4
9	Load Cell	4
10	HX711	4
11	Arduino	1
12	PSoC 5LP	1
13	Raspberry Pi 3B	1
14	Laptop	1
15	Timbangan Digital 100gr-20 Kg	1
16	Heatsink Transistor	5
17	Koin Rp 500 Aluminium	5
18	Koin Rp 1000	5
19	Koin Rp 500 Tembaga	5
20	LM741	4

2. Prosedur Praktikum

Percobaan 1:



Gambar 4.3. Rangkaian percobaan 1 dan 2.

- a. Hubungkanlah salah satu kaki FSR ke sumber tegangan 5 V yang dihubungkan pada 5V pada arduino.
- b. Kaki lain dari FSR dihubungkan dengan resistor Rm dan Op-Amp seperti Gambar 2.8.
- c. Pin GND pada Arduino dihubungkan dengan kaki resistor Rm yang lain, lalu Arduino dihubungkan ke Laptop.
- d. Hubungkan juga keluaran Op-Amp dengan salah satu pin Analog pada Arduino.
- e. Buka aplikasi Arduino IDE pada laptop 1, lalu buatlah program sesuai Gambar 4.4.
- f. Hubungkan Arduino ke Laptop dan *Upload* program yang telah dibuat ke Arduino hingga berhasil.
- g. Ukur dan catat tegangan keluaran dari Rm dengan memvariasikan massa koin yang berbeda di Monitor Serial Arduino.
- h. Gantilah Rm hingga 3 kali dan ulangi percobaan tersebut.



Gambar 4. 4. Diagram alir program percobaan 1

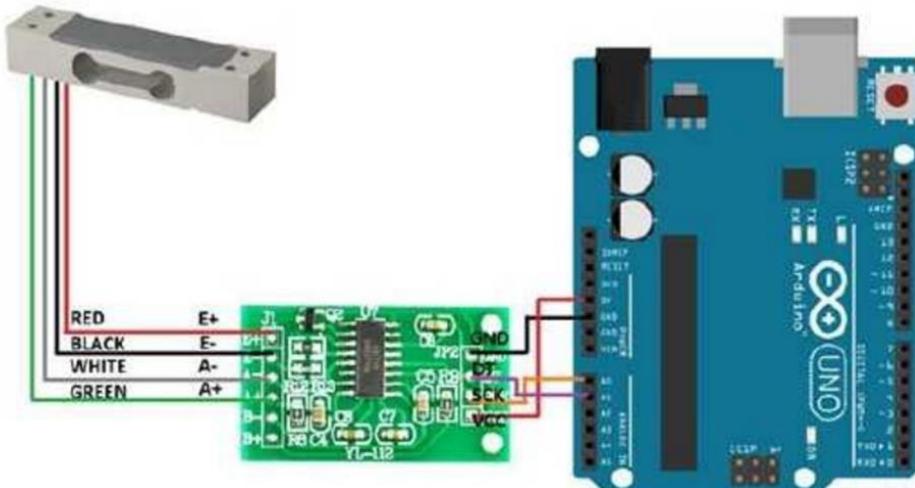
Percobaan 2:

- Rangkailah komponen-komponen percobaan 3 sesuai Gambar 4.3.
- Bukalah aplikasi PSoC Creator, lalu susun program dan blok yang diperlukan pada PSoC Creator sesuai Gambar 4.4.
- Hubungkan PSoC dengan Laptop dan *Build* program yang telah dibuat sampai berhasil.
- Buka Arduino IDE untuk melihat Vout dari Monitor Serial.
- Ukur dan catat tegangan keluaran dari Rm dengan memvariasikan massa koin yang berbeda.
- Gantilah Rm hingga 3 kali dan ulangi percobaan tersebut

Percobaan 3:

- Siapkan alat dan bahan yang digunakan untuk praktikum

- b) Rangkai sensor *load cell*, ADC HX711, dan Arduino sesuai dengan skema pada Gambar 4.5

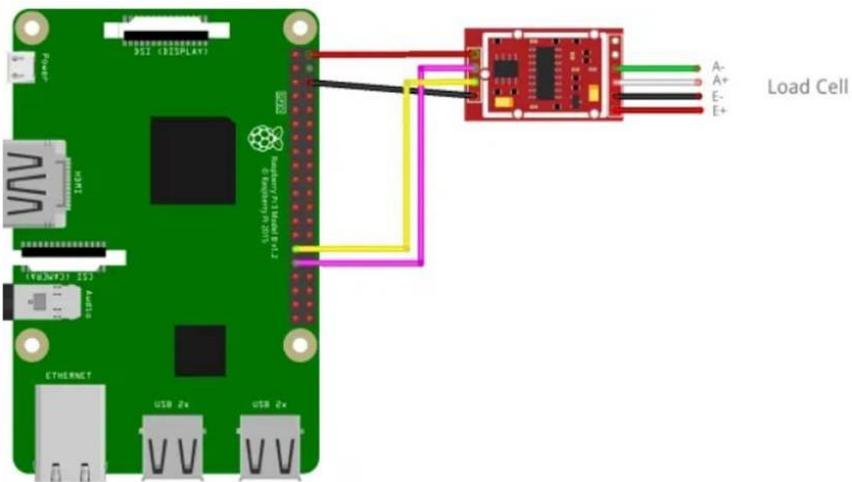


Gambar 4. 5. Skema rangkaian *load cell* + HX711 pada Arduino.

- c) Unduh pustaka HX711 untuk Arduino IDE (<https://bit.ly/3BdVTYc>)
- d) Kalibrasi *load cell* HX711 dengan koding berikut (komunikasi dengan asprak)
- e) Mengunggah program yang digunakan untuk membaca nilai *load cell* (komunikasi dengan asprak)
- f) Pilih salah satu koin kemudian taruh pada penampang *load cell*
- g) Catat nilai yang ditampilkan pada serial monitor Arduino IDE
- h) Pindahkan koin ke penampang timbangan digital
- i) Catat berat yang ditampilkan pada timbangan digital
- j) Bandingkan hasil pengukuran berat menggunakan sensor *load cell* dan timbangan digital
- k) Variasikan jumlah dan jenis koin yang ditimbang pada kedua alat ukur

Percobaan 4:

- a. Hubungkan *load cell* ke HX711 dan Raspberry Pi sesuai dengan port yang sudah ditentukan seperti Gambar 4.6



Gambar 4. 6. Rangkaian load cell + HX711 dengan Raspberry Pi

- VCC to Raspberry Pi Pin 2 (5 V)
 - GND to Raspberry Pi Pin 6 (GND)
 - DT to Raspberry Pi Pin 29 (GPIO 5)
 - SCK to Raspberry Pi Pin 31 (GPIO 6)
- b. Unduh pustaka HX711 untuk Raspberry Pi
 - c. Mengunggah program yang digunakan untuk membaca nilai load cell (komunikasi dengan asprak)
 - d. Pilih salah satu koin kemudian taruh pada penampang *load cell*
 - e. Catat nilai yang ditampilkan pada serial monitor Raspberry Pi IDE
 - f. Pindahkan koin ke penampang timbangan digital
 - g. Catat berat yang ditampilkan pada timbangan digital
 - h. Bandingkan hasil pengukuran berat menggunakan sensor *load cell* dan timbangan digital

3. Tabel Pengamatan

Tabel 4. 5. Tabel pengamatan untuk percobaan 1

Rm =

No	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)	Massa Hasil Kalibrasi (gram)	Δ Massa
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
Persamaan Hasil Kalibrasi:			$R^2 =$	
Rm =				
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)	Massa Hasil Kalibrasi (gram)	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
Persamaan Hasil Kalibrasi:			$R^2 =$	
Rm =				
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)	Massa Hasil Kalibrasi (gram)	
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

7.				
8.				
9.				
10.				
Persamaan Hasil Kalibrasi:			R² =	

Tabel 4. 6. Tabel pengamatan untuk percobaan 2

R_m =		
No.	Massa (gram)	Tegangan Keluaran (V)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
R_m =		
No.	Massa (gram)	Tegangan Keluaran (V)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
R_m =		
No.	Massa (gram)	Tegangan Keluaran (V)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

Tabel 4. 7. Tabel pengamatan untuk percobaan 3

Tabel 4. 8. Tabel pengamatan untuk percobaan 4

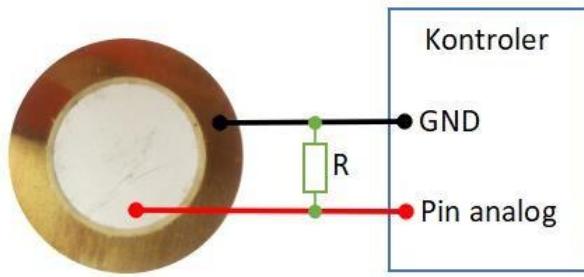
C. Modul PSI-03: Sistem Sensor Audio & Getaran

1. Alat dan Bahan

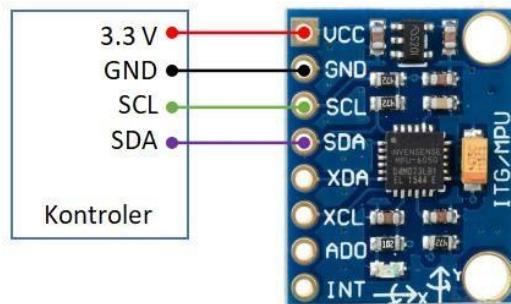
Tabel 4.9. Alat dan bahan Modul PSI-03.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Arduino	1
5	PSoC 5LP	1
6	Raspberry Pi 3B	1
7	Laptop	3
8	Piezoelectric	4
9	Pegas 2mm	4
10	MPU6050	4
11	Condenser	4
12	Batang Logam	1
13	Bor Tangan	1
14	Mixer Tangan	1
15	Resistor —	1
16	Kapasitor 1uF	1

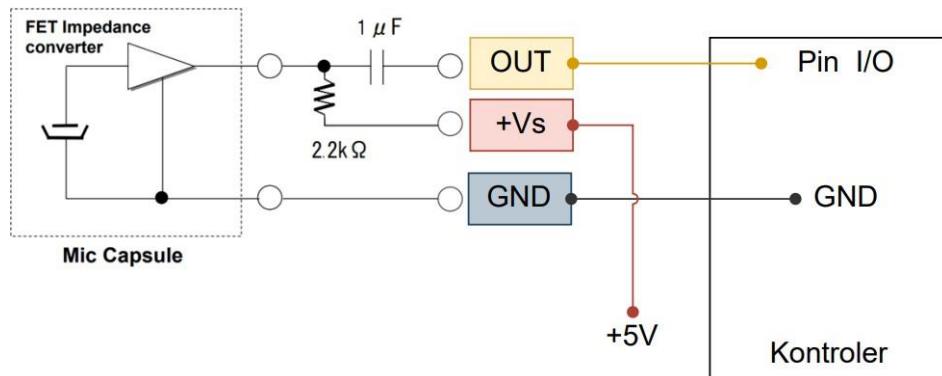
2. Prosedur Praktikum



Gambar 4.7. Rangkaian sensor piezoelektrik.



Gambar 4.8. Rangkaian sensor MPU6050.



Gambar 4.9. Rangkaian sensor kondenser.

Percobaan 1:

1. Susun rangkaian sesuai modul (piezoelektrik-arduino, kondenser-PSoC, MPU6050-Raspberry Pi)
2. Buka aplikasi Arduino IDE pada Laptop 1, lalu hubungkan dengan Arduino.
3. Buka aplikasi Arduino IDE dan PSoC Creator pada Laptop 2, kemudian

hubungkan dengan PSoC.

4. Hubungkan Raspberry Pi dengan Laptop 3.
5. Susun source code pada aplikasi Arduino IDE pada laptop 1 sesuai dengan flowchart pada modul.
6. Susun source code dan blok yang diperlukan pada PSoC Creator pada laptop 2 sesuai dengan flowchart pada modul.
7. Susun source code untuk Raspberry Pi di laptop 3 sesuai dengan flowchart pada modul.
8. Upload source code ke Arduino sampai berhasil menggunakan laptop 1.
9. Build source code ke PSoC sampai berhasil menggunakan laptop 2.
10. Munculkan serial monitor pada aplikasi Arduino IDE pada Laptop 1 dan 2.
11. Letakkan sensor sejauh 20 cm dari bor tangan.
12. Nyalakan bor tangan dan upayakan agar seluruh getaran dari bor tangan yang diterima oleh sensor hanya getaran yang merambat di udara.
13. Catat data keluaran dari masing-masing sensor selama 5 menit secara bersamaan.
14. Hubungkan bor tangan dan sensor dengan batang logam sebagai perantaranya, sehingga getaran merambat melalui benda padat (logam).
15. Catat data keluaran dari masing-masing sensor selama 5 menit secara bersamaan.
16. Lakukan langkah 11-13 dengan mixer audio sebagai sumber getarannya.

Percobaan 2:

1. Susun rangkaian sesuai modul (piezoelektrik-PSoC-laptop 2, kondenser-arduino-laptop 1).
2. Munculkan serial monitor pada aplikasi Arduino IDE pada Laptop 1 dan 2. Lakukan pengukuran sebagaimana langkah 11-16 pada Percobaan 1.

Percobaan 3:

1. Susun rangkaian sesuai modul (MPU6050-Arduino-laptop 3).

2. Buka aplikasi Arduino IDE pada Laptop 3, lalu hubungkan dengan Arduino.
 3. Susun source code pada aplikasi Arduino IDE pada laptop 3 sesuai dengan flowchart pada modul.
 4. Upload source code ke Arduino sampai berhasil menggunakan laptop 3.
 5. Munculkan serial monitor pada aplikasi Arduino IDE pada Laptop 3.
Lakukan pengukuran sebagaimana langkah 11-16 pada Percobaan 1.
3. Tabel Pengamatan dan Pengolahan Data

Tabel 4.10. Hasil percobaan 1.

Piezoelektrik-Arduino				Kondenser-PSoC			
Bor-udara	Bor-padat	Mixer-udara	Mixer-padat	Bor-udara	Bor-padat	Mixer-udara	Mixer-padat

Akselerometer-Raspberry Pi						Giroskop-Raspberry Pi											
Bor-udara		Bor-padat		Mixer-udara		Mixer-padat		Bor-udara		Bor-padat		Mixer-udara		Mixer-padat			
x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	X	y	z

Tabel 4.11. Hasil percobaan 2.

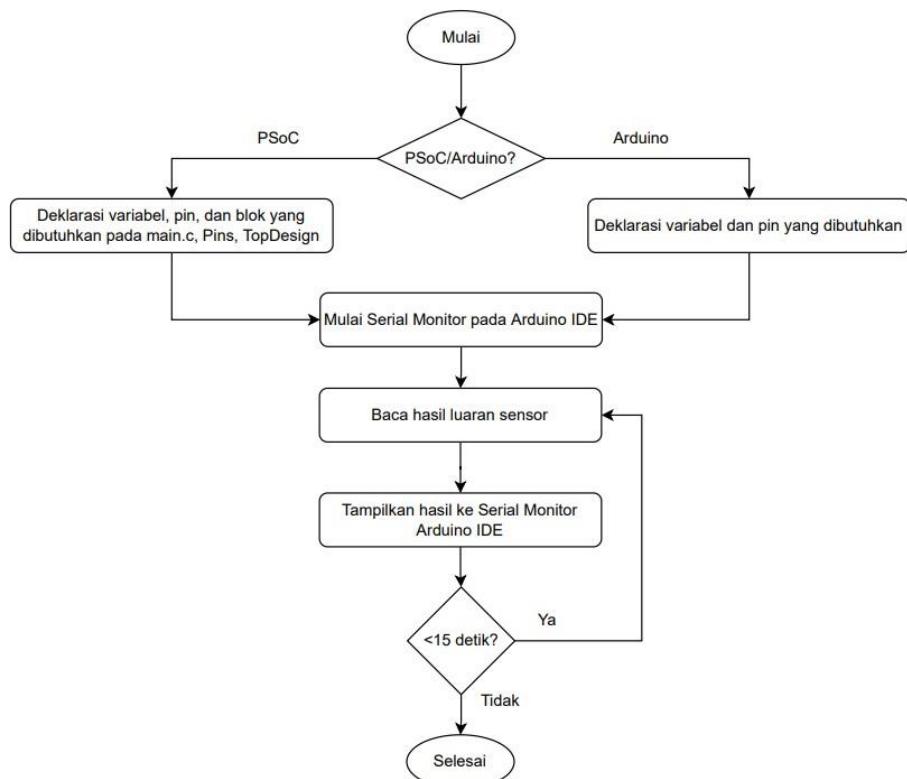
Piezoelektrik-PSoC				Kondenser-Arduino			
Bor-udara	Bor-padat	Mixer-udara	Mixer-padat	Bor-udara	Bor-padat	Mixer-udara	Mixer-padat

Tabel 4.12. Hasil percobaan 3.

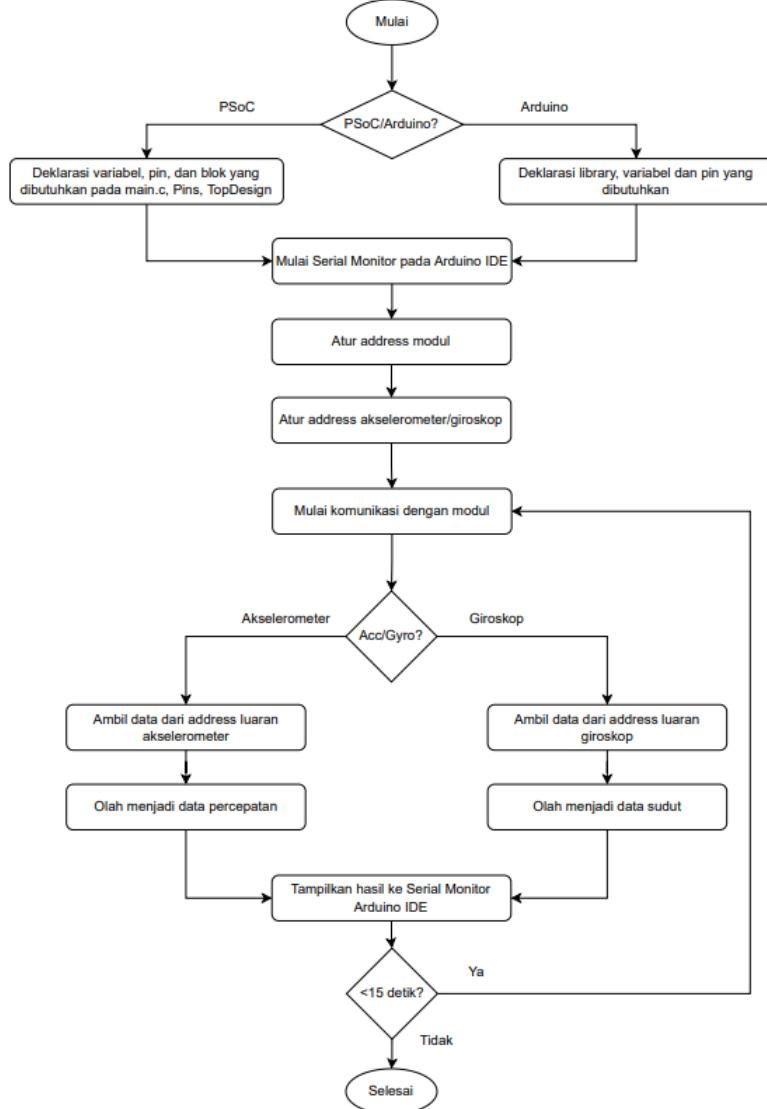
Akselerometer-Arduino									Giroskop-Arduino																		
Bor-udara			Bor-padat			Mixer-udara			Mixer-padat			Bor-udara			Bor-padat			Mixer-udara			Mixer-padat						
x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	

Pengolahan Data

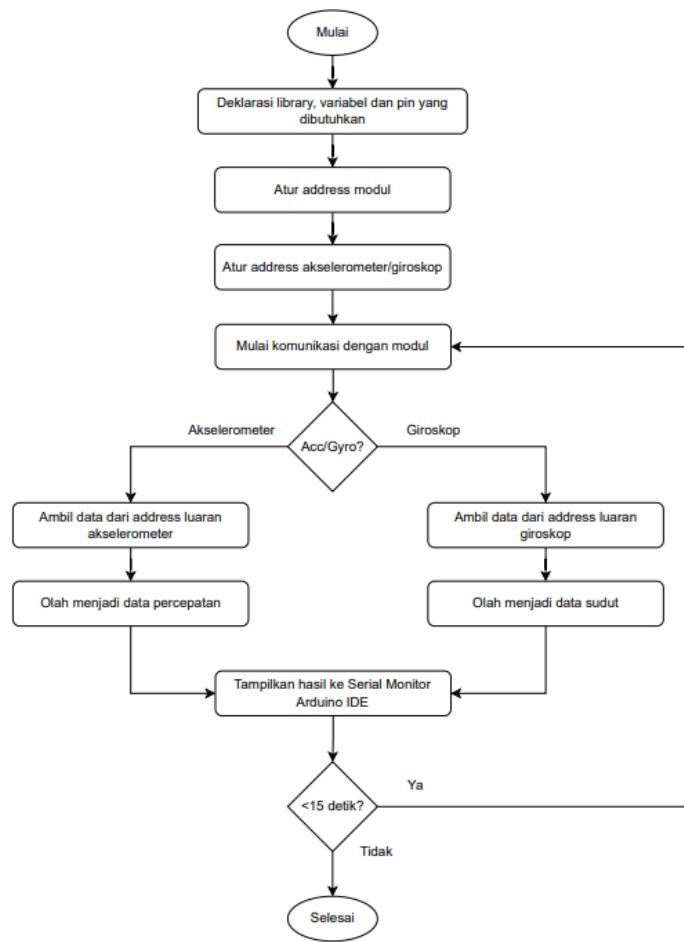
Setelah menyelesaikan seluruh percobaan, sadari bahwa fenomena yang diukur adalah getaran, tetapi data pengukuran belum menunjukkan besaran frekuensi. Bangun sebuah program/gunakan perangkat lunak tertentu untuk memperoleh frekuensi getaran masukan. (Petunjuk: Power Spectral Density).



Gambar 4.10. Diagram alir sensor kondenser dan piezoelektrik.



Gambar 4.11. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan PSoC dan Arduino.



Gambar 4.12. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan Raspberry Pi.

D. Modul PSI-04: Sistem Sensor Kadar Gas

1. Alat dan Bahan

Tabel 4.13. Alat dan bahan Modul PSI-04.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Arduino	1
5	PSoC 5LP	1
6	Raspberry Pi 3B	1
7	Laptop	1
8	Resistor 10K	4
9	Resistor 1K	4
10	TGS822	4
11	MQ6	4
12	MH-Z19	4
13	Tabung Gas Kompor Portable	
14	Korek Gas	1
15	Alkohol Medis	1
16	Kapas	1
17	Oxycan	1

2. Prosedur Praktikum

Pengambilan data

1. Rangkai seluruh sensor dengan mikrokontroler Arduino dan PSoC serta dengan mikrokontroler Raspi untuk sensor MH-Z19.

2. Hubungkan pin output analog sensor TGS2611, TGS822, dan MQ6 dengan pin Arduino/PSoC yang siap menerima masukan analog serta pin RX/TX sensor MH-Z19 dengan pin RX/TX Arduino/PSoC/Raspi.
3. Siapkan program Arduino/PSoC yang akan mengonversi nilai analog menjadi nilai tegangan untuk seluruh sensor yang memiliki *output* berupa tegangan dan mengirimkan nilai tegangan tersebut melalui protokol UART secara bersamaan. Pastikan Anda tidak memberikan *delay* pada proses pengiriman data.
4. Siapkan program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari Arduino/PSoC ke Laptop melalui protokol UART. Data yang tersimpan berupa berkas txt/csv.
5. Siapkan 1 gas chamber untuk percobaan sensor TGS2611, TGS822, dan MQ2 serta 1 gas chamber lainnya untuk percobaan sensor MH-Z19.
6. Siapkan stimulus untuk masing-masing gas chamber dengan mula-mula menutup chamber dengan penyumbat dan pastikan tidak ada celah. Adapun cara menyiapkan stimulus sebagai berikut:
 - Gas korek api/oxycan
 - Pastikan penyumbat menutup rapat gas chamber tanpa ada celah.
 - Buka tutup gas chamber dan arahkan nozzle korek api/oxycan ke dalam gas chamber
 - Semprotkan korek api/oxycan ke dalam gas chamber selama 20 detik
 - Tutup kembali gas chamber dan tunggu selama 30 detik
 - Alkohol/tabung gas portable
 - Pastikan penyumbat menutup rapat gas chamber tanpa ada celah
 - Teteskan alkohol atau semprotkan tabung gas portable ke kapas hingga kapas terasa basah ketika ditekan (untuk alkohol) dan sudah tercipta bau (untuk LPG).
 - Kapas yang sudah basah tersebut diletakkan pada gas chamber lalu tutup gas chamber dengan rapat dan tunggu selama 30 detik
7. Jalankan program untuk akuisisi dan penyimpanan data selama 10 detik.

8. Setelah 10 detik, selagi program masih berjalan lakukan pengambilan data stimulus dengan mengganti penyumbat chamber dengan penyumbat yang sudah disertai sensor.
9. Data yang perlu diambil adalah sebagai berikut:
 - 3 sensor: seluruh sensor minimal diambil 10.000 data untuk setiap stimulus pada arduino
 - MH-Z19
 - a. Sensor diambil datanya selama 30 menit untuk stimulus oxycan dan 10 menit untuk stimulus lainnya pada Arduino
 - b. Sensor menampilkan data pada serial monitor untuk setiap stimulus pada PSoC
 - c. Sensor menampilkan data pada serial monitor untuk setiap stimulus pada Raspi
10. Variasikan resolusi ADC pada PSoC untuk menentukan resolusi paling optimal untuk tiap sensor.

3. Tabel Pengamatan dan Pengolahan Data

Tabel 4. 14. Tabel pengamatan percobaan modul PSI-04

No.	Nilai tegangan yang terukur (V)			Nilai konsentrasi CO2 (PPM) MH-Z19
	TGS2611	TGS822	MQ6	
1				
2				
3				
.				
.				
.				
10000				

Pengolahan data

1. Data keluaran sensor dari Arduino diolah menjadi file yang dapat dibaca oleh pengolah data (disarankan python).

2. Data keluaran 3 sensor dilakukan parsing sehingga pengolah data dapat membedakan nilai bacaan tiap sensor agar didapat kurva respon sensor.
3. Data yang diolah disesuaikan sumbu X pada kurva respon sensor menjadi waktu dan sumbu Y pada kurva respon sensor menjadi tegangan.
4. Setiap kurva yang diambil harus ditentukan time constant, settling time, dan steady state value.
5. Untuk sensor MH-Z19, data keluarannya dibuat interpretasi kurva yang dihasilkan pengolah data.

E. Modul PSI-05: Sistem Sensor Suhu & Kelembaban

1. Alat dan Bahan

Tabel 4.15. Alat dan bahan Modul PSI-05.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Arduino	1
5	PSoC 5LP	1
6	Raspberry Pi 3B	1
7	Laptop	1
8	LM35	4
9	Dioda 1N914	4
10	Resistor 18K	4
11	DHT22	4
12	SHT20	4
13	DS18B20	4
14	Thermocouple tipe K	4
15	MAX6675	4
16	Solder	1
17	Thermogun	1

2. Prosedur Praktikum

Percobaan 1:

- Hubungkan sebuah sensor LM35 pada Arduino dengan konfigurasi pin:

LM35	Arduino
VCC	5V

gnd	gnd
out	A0

2. Hubungkan sebuah sensor LM35 pada PSoC dengan konfigurasi pin:

LM35	PSoC
vcc	vcc
gnd	vdd
out	Analog In

3. Gunakan kode sumber untuk membaca nilai tegangan (dalam mV) dari sensor melalui konversi dari nilai ADC pada PSoC dan Arduino
4. Masukkan persamaan konversi dari tegangan menjadi suhu sesuai dengan karakteristik LM35
5. Variasikan resolusi dari ADC pada PSoC dan jeda waktu pengambilan data sesuai tabel pengamatan
6. Beri jeda 1 detik untuk setiap proses pengiriman data
7. Siapkan program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari Arduino dan PSoC ke Laptop melalui protokol UART (disarankan menggunakan bahasa pemrograman Python) data luaran dari program berupa berkas txt/csv
8. Panaskan solder dan dekatkan kedua sensor pada solder dengan jarak 15 cm
9. Akuisisi data dilakukan sejak solder dinyalakan hingga suhu solder mencapai titik saturasi
10. Gunakan *thermogun* untuk mengukur suhu solder
11. Catat hasil bacaan pada *thermogun* setiap 1 detik
12. Bandingkan hasil pengukuran suhu antara sensor yang menggunakan Arduino dan PSoC serta nilai suhu yang terbaca oleh *thermogun*
13. Bandingkan linearitas dan akurasi data antara kedua sensor tersebut di setiap variasi resolusi ADC (khusus PSoC)
14. Ulangi prosedur percobaan dengan mengukur suhu solder saat solder dimatikan hingga nilai solder saturasi pada titik bawah

Percobaan 2:

1. Hubungkan LM35, SHT20, DHT22, DS18B20, dan Thermocouple tipe K+MAX6675 ke sebuah arduino dengan konfigurasi pin seperti berikut, buatlah program pada Arduino untuk mengirimkan data dari seluruh sensor secara bersamaan melalui protokol UART

LM35	Arduino
vcc	5v
gnd	gnd
out	A0
SHT20	Arduino
vcc	3.3v
gnd	gnd
sda	A4
scl	A5
DHT22	Arduino
vcc	5v
gnd	gnd
out	D2
DS18B20	Arduino
vcc	5v
gnd	gnd
out	D3
MAX6675	Arduino
vcc	5v
gnd	gnd
sck	D6
cs	D5
so	D4

2. Lakukan langkah percobaan yang sama dengan percobaan 1 menggunakan solder dan *thermogun*
3. Amati linearitas dan akurasi dari masing-masing data suhu dari sensor di tiap variasi jeda waktu pengambilan data
4. Amati juga linearitas, akurasi, dan tentukan apakah data kelembaban dari SHT20 dan DHT20 presisi atau tidak selama pengukuran

Percobaan 3:

1. Lakukan akuisisi data dari seluruh sensor digital yang tersedia menggunakan Raspberry Pi dengan skema dan kode sumber yang telah Anda siapkan sebelum praktikum.

3. Tabel Pengamatan

Tabel 4. 16. Tabel pengamatan percobaan 1

Resolusi ADC Arduino (bit)	Suhu yang terbaca setelah konversi (Arduino) ('C)	Resolusi ADC PSoC (bit)	Suhu yang terbaca setelah konversi (PSoC) ('C)	Suhu sesungguhnya (thermogun) ('C)
10		8		
10		10		
10		12		

Tabel 4. 17. Tabel pengamatan percobaan 2 (suhu)

LM35 ('C)	SHT20 ('C)	DHT22 ('C)	DS18B20 ('C)	Thermocouple tipe K ('C)	Suhu sesungguhnya (thermogun) ('C)

Tabel 4. 18. Tabel pengamatan percobaan 2 (kelembapan)

SHT20 (%RH)	DHT22 (%RH)

F. Modul PSI-06: Sistem Sensor Gelombang Cahaya

1. Alat dan Bahan

Tabel 4.19. Alat dan bahan Modul PSI-06.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Arduino	1
5	PSoC 5LP	1
6	Raspberry Pi 3B	1
7	Laptop	1
8	LDR	4
9	Resistor 10K	8
10	Photodiode	4
11	PIR	4
12	BH1750	4
13	Senter	1

2. Prosedur Praktikum

Percobaan 1:

1. Susun LDR dan resistor 10k ohm pada *project board* secara seri.
2. Sambungkan ujung dari LDR ke pin 5 V dari Arduino.
3. Sambungkan ujung dari resistor 10k ohm ke ground dari Arduino.
4. Sambungkan pin A0 dari Arduino ke sambungan antara LDR dan resistor 10k ohm.

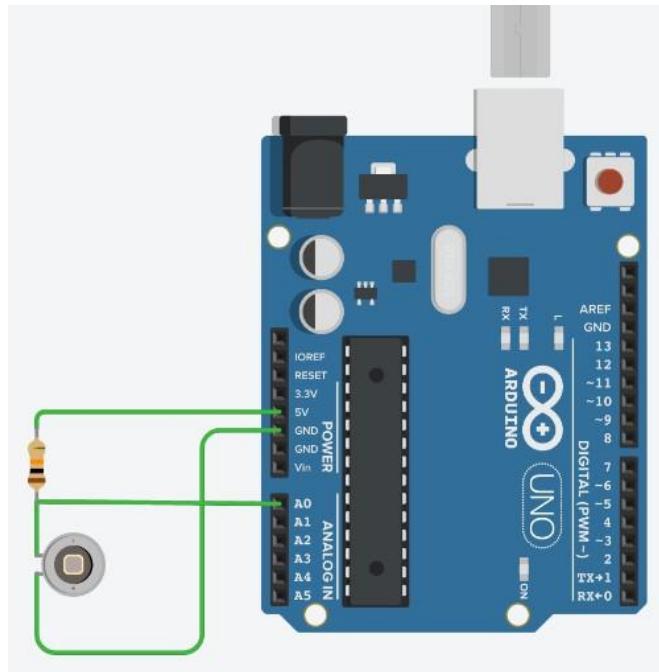
5. Susun *source code* untuk menampilkan bacaan nilai analog pada pin A0 dari Arduino.
6. Catat nilai yang muncul pada serial monitor Arduino IDE.
7. Nyalakan senter dan arahkan ke LDR.
8. Catat nilai yang muncul pada serial monitor.
9. Tukar posisi dari LDR dan resistor 10k ohm dan lakukan langkah 5-8.

Percobaan 2:

1. Susun rangkaian tersebut pada project board
2. Susun rangkaian yang bersesuaian pada PSoC Creator.
3. Implementasikan blok pengiriman data bacaan sensor dengan UART.
4. Build source code ke PSoC.
5. Munculkan serial monitor pada aplikasi Arduino IDE.
6. Catat nilai yang muncul pada serial monitor Arduino IDE.
7. Nyalakan senter dan arahkan ke LDR.
8. Catat nilai yang muncul pada serial monitor Arduino IDE.

Percobaan 3:

1. Susun rangkaian tersebut seperti pada gambar
2. Susunlah kode sumber yang dapat menampilkan bacaan nilai keluaran dari photodioda
3. Sambungkan kode sumber yang telah disusun ke rangkaian *hardware*
4. Nyalakan senter pada photodioda pada level keterangan yang berbeda
5. Catat nilai yang muncul pada serial monitor



Gambar 4. 13. Rangkaian percobaan photodioda dengan Arduino.

Percobaan 4:

1. Susunlah rangkaian pembagi tegangan dengan resistor dan photodioda dan sambungkan pada PSoC
2. Susunlah rangkaian yang sesuai pada aplikasi PSoC Creator
3. Implementasikan blok pengiriman data bacaan sensor dengan UART antar PSoC dan Arduino.
4. Susunlah kode sumber yang dapat menampilkan bacaan nilai keluaran dari photodioda pada PSoC Creator.
5. Nyalakan senter pada photodioda pada level keterangan yang berbeda
6. Catat nilai yang muncul pada serial monitor Arduino IDE

Percobaan 5:

1. Sambungkan sensor PIR ke pins Arduino yang sesuai
2. Susunlah kode sumber yang dapat menampilkan bacaan nilai keluaran dari sensor PIR

3. Sambungkan kode sumber yang telah disusun ke rangkaian *hardware*
4. Dekatkan senter (atau benda apapun) pada sensor PIR pada jarak yang berbeda
5. Catat nilai yang muncul pada serial monitor

Percobaan 6:

1. Sambungkan sensor PIR ke pins Raspberry Pi yang sesuai
2. Susunlah kode sumber yang dapat menampilkan bacaan nilai keluaran dari sensor PIR
3. Sambungkan kode sumber yang telah disusun ke rangkaian *hardware*
4. Dekatkan senter (atau benda apapun) pada sensor PIR pada jarak yang berbeda
5. Catat nilai yang muncul pada serial monitor

Percobaan 7:

1. Sambungkan sensor PIR pada pins masukan PSoC
2. Susunlah rangkaian yang sesuai pada aplikasi PSoC Creator
3. Implementasikan blok pengiriman data bacaan sensor dengan UART antar PSoC dan Arduino.
4. Susunlah kode sumber yang dapat menampilkan bacaan nilai keluaran dari photodioda pada PSoC Creator.
5. Dekatkan senter (atau benda apapun) pada sensor PIR pada jarak yang berbeda
6. Catat nilai yang muncul pada serial monitor Arduino IDE

Percobaan 8:

1. Sambungkan pin VCC dari BH1750 ke pin 3,3V dari Arduino.
2. Sambungkan pin GND dari BH1750 ke pin GND dari Arduino.
3. Sambungkan pin SDA dari BH1750 ke pin A4 dari Arduino.

4. Sambungkan pin SCL dari BH1750 ke pin A5 dari Arduino.
5. Sambungkan pin ADDR dari BH1750 ke pin GND dari Arduino.
6. Gunakan *source code* di bawah ini pada Arduino.

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
BH1750 lightMeter;
void setup(){
Serial.begin(9600);
Wire.begin();
lightMeter.begin();
Serial.println(F("BH1750 Test"));
}
void loop() {
float lux = lightMeter.readLightLevel(true);
Serial.print("Light: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lx");
delay(2000);
}
```

7. Letakkan sensor di dalam ruangan.
8. Catat nilai yang muncul pada serial monitor.
9. Masih dalam posisi di dalam ruangan, nyalakan senter dan arahkan ke sensor.
10. Catat nilai yang muncul pada serial monitor.
11. Masih dalam posisi di dalam ruangan, tutupi sensor dengan penutup yang dapat menghalangi cahaya mengenai sensor sebaik mungkin.
12. Catat nilai yang muncul pada serial monitor.

Percobaan 9:

1. Atur raspberry pi agar dapat berkomunikasi dengan I2C.
2. Sambungkan pin VCC dari BH1750 ke pin P1-01 dari Raspberry Pi.
3. Sambungkan pin GND dari BH1750 ke pin P1-14 dari Raspberry Pi.
4. Sambungkan pin SDA dari BH1750 ke pin P1-03 dari Raspberry Pi.
5. Sambungkan pin SCL dari BH1750 ke pin P1-05 dari Raspberry Pi.
6. Sambungkan pin ADDR dari BH1750 ke pin P1-14 dari Raspberry Pi.

7. Susun *source code* (dengan bahasa pemrograman apa pun) pada Raspberry Pi untuk menampilkan hasil bacaan sensor.
8. Letakkan sensor di dalam ruangan.
9. Catat nilai bacaan sensor yang muncul.
10. Masih dalam posisi di dalam ruangan, nyalakan senter dan arahkan ke sensor.
11. Catat nilai bacaan sensor yang muncul.
12. Masih dalam posisi di dalam ruangan, tutupi sensor dengan penutup yang dapat menghalangi cahaya mengenai sensor serapat mungkin.
13. Catat nilai bacaan sensor yang muncul.

G. Modul PSI-07: Sistem Aktuator: Motor DC, *Buzzer*, & *Relay*

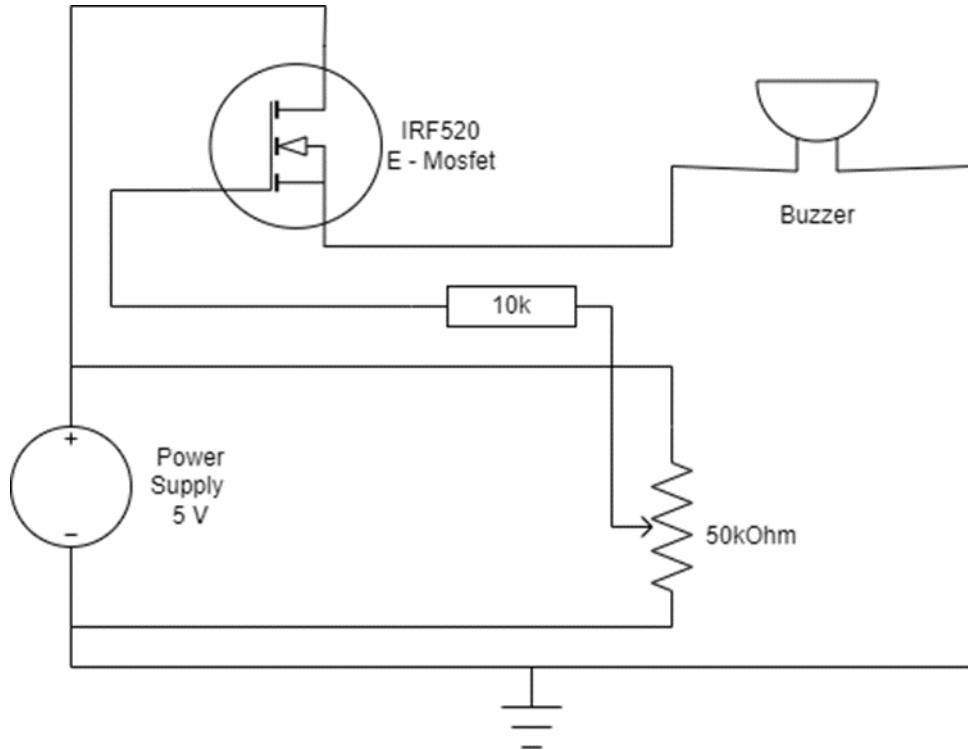
1. Alat dan Bahan

Tabel 4.20. Alat dan bahan Modul PSI-07.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Arduino	1
5	PSoC 5LP	1
6	Raspberry Pi 3B	1
7	Laptop	1
8	Motor DC	4
9	<i>Relay</i>	4
10	Transistor NPN 2N3904	4
11	P-MOSFET IRF540	4
12	Potensiometer 50K	4
13	IC L293D	4
14	Power Supply 12V	1
15	<i>Buzzer</i>	4

2. Prosedur Praktikum

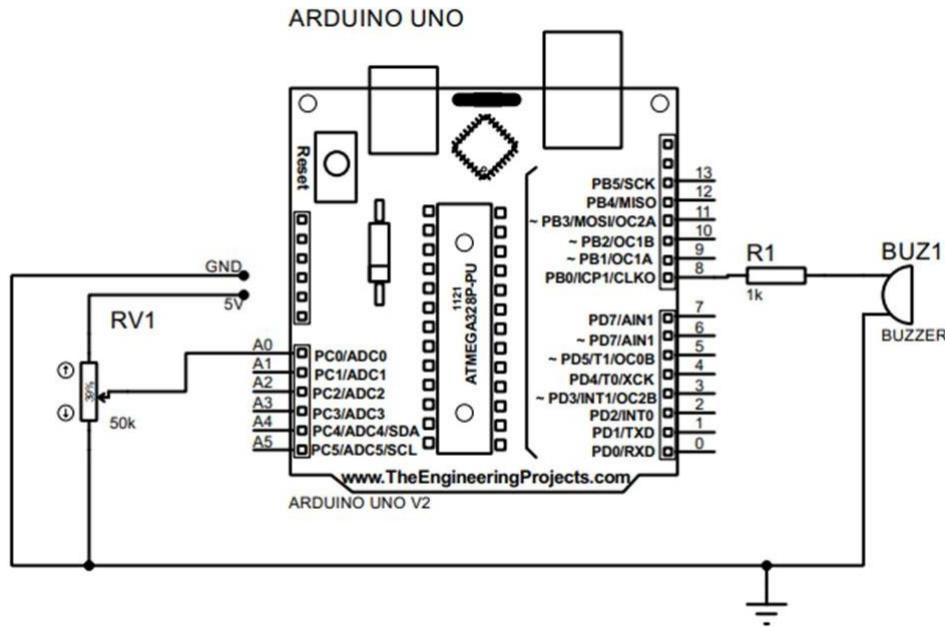
Percobaan 1:



Gambar 4.14. Rangkaian analog pengendali buzzer.

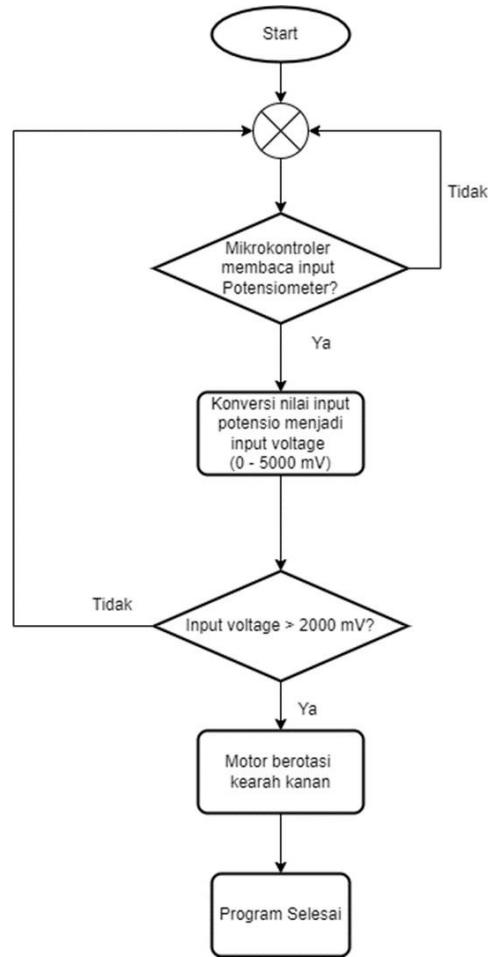
1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan pengendalian aktuator dengan komponen analog yaitu power supply 5 Volt, potensiometer $50\text{k}\Omega$, resistor $10\text{k}\Omega$, e-Mosfet IRF520, Motor DC, Project Board, Kabel Jumper, dan Kabel Jepit.
2. Membuat rangkaian pada *project board* seperti pada gambar.
3. Kemudian variasikan nilai Potensiometer dengan memutar roda pada potensiometer.
4. Ulangi langkah yang sama dengan menggunakan BJT 2N3904 sebagai pengendali aktuator.

Percobaan 2:



Gambar 4.15. Rangkaian pengendali buzzer dengan Arduino.

1. Siapkan Arduino UNO R3 atau Arduino MEGA2560, Potensiometer 50k, Piezo Buzzer, Resistor 1k, Power Supply, Project Board, Kabel Jumper, dan Kabel Jepit Buaya.
2. Membuat Rangkaian pada Project Board seperti pada Gambar 4.15.
3. Buatlah program pada Arduino berdasarkan pada algoritma berikut.



Gambar 4.16. Diagram alir percobaan 2.

Percobaan 3:

1. Siapkan PSoC 5LP CY8C5888LTI - LP097, Potensiometer 50k, resistor 1k, Piezo Buzzer, Laptop, Project Board, Kabel Jumper.
2. Membuat Rangkaian pada Project Board dengan ketentuan seperti pada Arduino (Pengendalian aktuator dengan potensiometer).
3. Buatlah program pada PSoC Creator berdasarkan pada algoritma yang sama seperti pada Arduino.

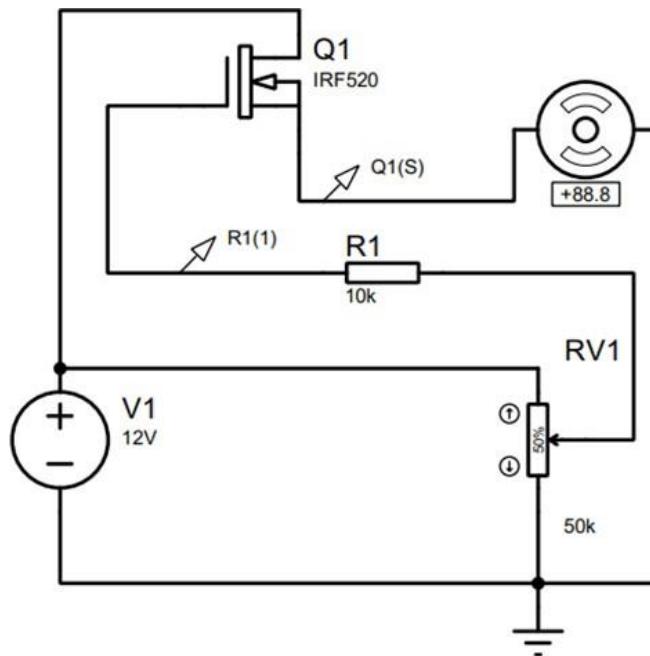
Percobaan 4:

1. Siapkan Raspberry Pi model B+, Potensiometer 50k, resistor 1k, Piezo Buzzer,

Laptop, Project Board, Kabel Jumper.

2. Membuat Rangkaian pada Project Board dengan ketentuan seperti pada Arduino (Pengendalian aktuator dengan potensiometer).
3. Buatlah program pada PSoC Creator berdasarkan pada algoritma yang sama seperti pada Arduino dan PSoC.

Percobaan 5:

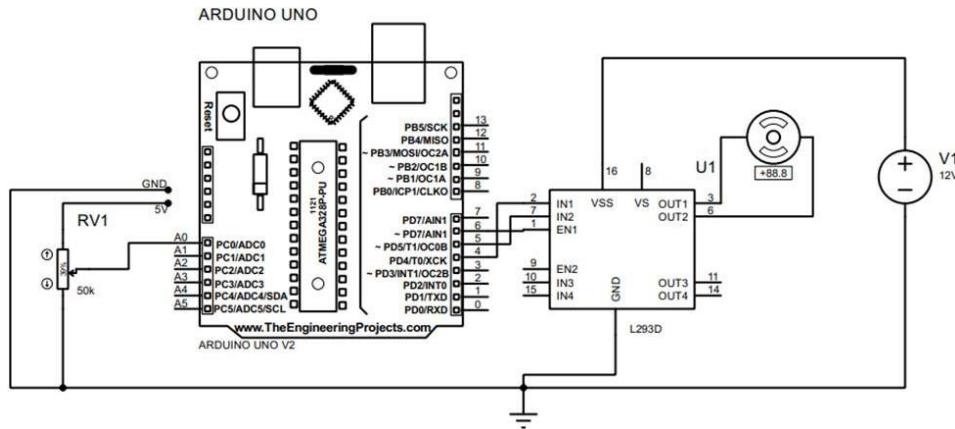


Gambar 4.17. Rangkaian analog pengendali motor DC.

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan pengendalian aktuator dengan komponen analog yaitu power supply 12 Volt, potensiometer $50\text{k}\Omega$, resistor $10\text{k}\Omega$, e-Mosfet IRF520, Motor DC, Project Board, Kabel Jumper, dan Kabel Jepit.
2. Membuat rangkaian pada *project board* seperti pada Gambar 4.17.
3. Kemudian variasikan nilai Potensiometer dengan memutar roda pada potensiometer.
4. Catat hasil pengamatan pada tabel laporan sementara.

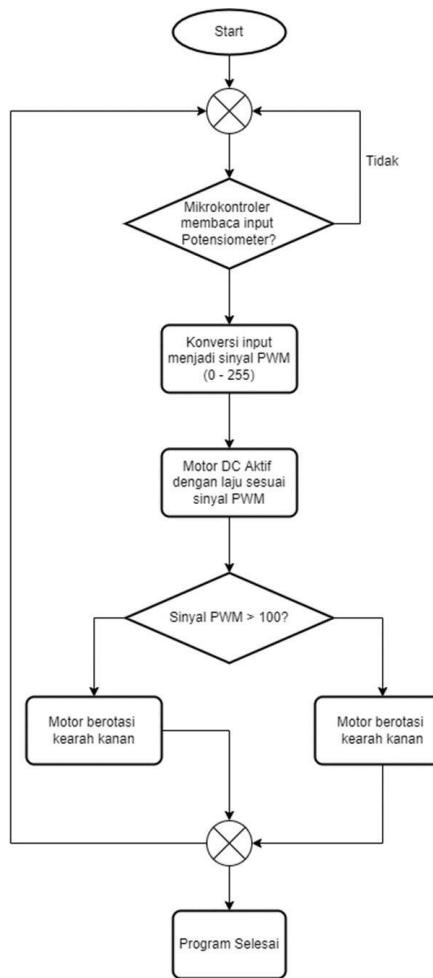
- Ulangi langkah yang sama dengan menggunakan BJT 2N3904 sebagai pengendali aktuator.

Percobaan 6:



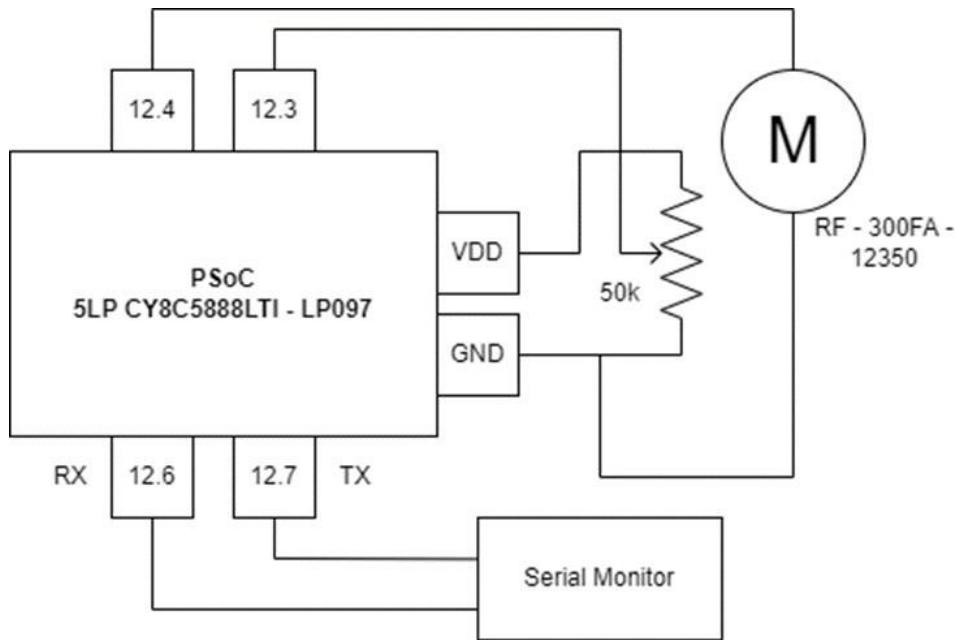
Gambar 4.18. Rangkaian pengendali motor DC dengan Arduino.

- Siapkan Arduino UNO R3 atau Arduino MEGA2560, IC Driver L293D, Potensiometer 50k, motor DC RF – 300FA – 12350, Power Supply, Project Board, Kabel Jumper, dan Kabel Jepit Buaya.
- Membuat Rangkaian pada Project Board seperti pada Gambar 4.18.
- Buatlah program pada Arduino berdasarkan pada algoritma berikut.



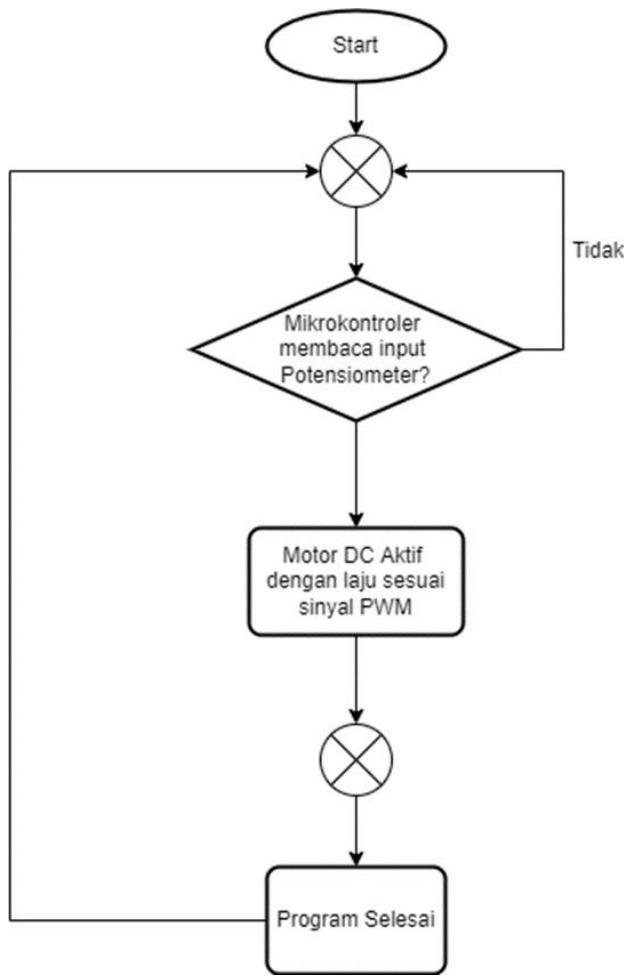
Gambar 4.19. Algoritma program Arduino pada percobaan 6.

Percobaan 7:



Gambar 4.20. Rangkaian pengendali motor DC dengan PSoC.

1. Siapkan PSoC 5LP CY8C5888LTI - LP097, Potensiometer 50k, motor DC RF – 300FA – 12350, Laptop, Project Board, Kabel Jumper.
2. Membuat Rangkaian pada Project Board seperti pada Gambar 4.20.
3. Buatlah program pada PSoC Creator berdasarkan pada algoritma berikut.



Gambar 4.21. Algoritma program PSoC pada percobaan 7.

Percobaan 8:

1. Siapkan Raspberry Pi model B+, Potensiometer 50k, motor DC RF – 300FA – 12350, Laptop, Project Board, Kabel Jumper.
2. Membuat Rangkaian pada Project Board dengan ketentuan seperti pada Arduino dan PSoC (Pengendalian aktuator dengan potensiometer).
3. Buatlah program dengan menggunakan bahasa pemrograman Python berdasarkan pada algoritma yang sama seperti pada PSoC

Percobaan 9:

1. Hubungkan pin relay dengan Arduino seperti berikut

Arduino	Relay
Vcc	Vcc
Gnd	Gnd
D2	In

2. Sambungkan *output* dari *relay* pada sebuah rangkaian LED sebagai *switching*
3. Siapkan kode sumber pada arduino untuk mengendalikan kondisi *on/off relay*
4. Variasikan kondisi awal dari rangkaian yang terhubung dengan *relay* (NO/NC)

H. Modul PSI-08: Sistem Aktuator: Motor Servo & Motor *Stepper*

1. Alat dan Bahan

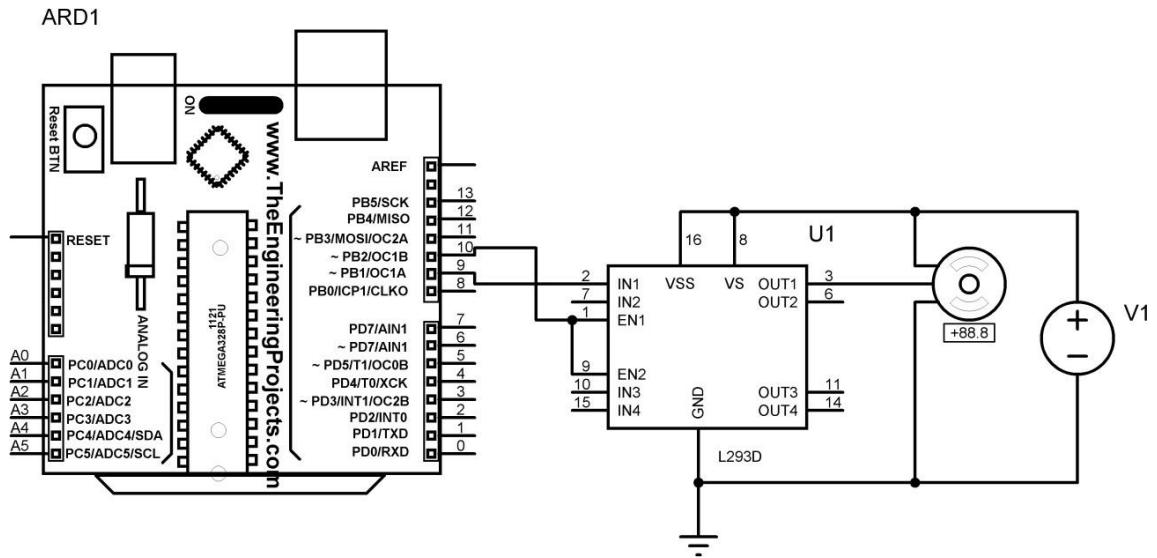
Tabel 4.21. Alat dan bahan Modul PSI-08.

No.	Alat & Bahan	Jumlah
1	Multimeter	1
2	Project Board	1
3	Kabel Jumper	Secukupnya
4	Arduino	1
5	PSoC 5LP	1
6	Raspberry Pi 3B	1
7	Laptop	1
8	Motor Servo	4
9	Motor Stepper	4
10	IC L293D	4

2. Prosedur Praktikum

Percobaan 1:

1. Siapkan alat dan bahan
2. Rangkai rangkaian pengendali motor servo sederhana menggunakan Arduino UNO R3 berdasarkan gambar di bawah ini.



Gambar 4.22. Rangkaian Percobaan 1.

3. Sambungkan pin power 1 pada driver L293D pada sumber tegangan dari Arduino UNO R3
4. Sambungkan pin power 2 pada driver L293D pada sumber tegangan eksternal yang sama dengan kebutuhan sumber tegangan motor servo yang digunakan pada percobaan 1 ini.
5. Sambungkan sumber tegangan motor servo pada sumber tegangan yang besarnya sesuai dengan kebutuhan tegangan operasi motor servo.
6. Sambungkan *ground* driver L293D dengan *ground* sumber tegangan eksternal, motor servo, dan Arduino UNO R3.
7. Sambungkan pin keluaran 1 pada driver L293D pada pin masukan motor servo.
8. Masukkan (unduh jika belum tersedia) *library* Servo pada IDE Arduino anda.
9. Unggah program yang digunakan untuk menjalankan motor servo menggunakan driver L293D dan Arduino Uno R3. Berikut adalah referensi yang dapat digunakan untuk melaksanakan percobaan 1 ini.

```

#include <Servo.h>

Servo servo;

int pos = 0;

void setup() {
    digitalWrite(7,LOW);
    myservo.attach(12);
}

void loop() {
    for (pos = 0; posisi <= 180; pos += 1) {
        myservo.write(posisi);
        delay(50000);
    }
    for (pos = 180; posisi >= 0; pos -= 1) {
        myservo.write(posisi);
        delay(100000);
    }
}

```

10. Amati dan catat pergerakan arah putaran motor servo pada tabel hasil pengamatan

11. Ulangi langkah-langkah percobaan poin 1 s.d 10 dengan mengubah kecepatan rotasi motor servo

12. Ulangi langkah 1 s.d 11 dengan mengubah mikrokontroler menjadi PSoC dan Raspi dan silakan buat kode program untuk PSoC dan Raspi dengan keadaan, parameter dan variabel yang sama seperti pada Arduino Uno R3.

Catatan: Kolom arah putar diisi dengan 3 keadaan arah putar motor servo, yaitu searah jarum jam, berlawanan arah jarum jam, dan keduanya. Setiap keadaan arah putar motor servo silakan variasikan kecepatan rotasi motor servo sebanyak 3 buah variasi yang berbeda-beda.

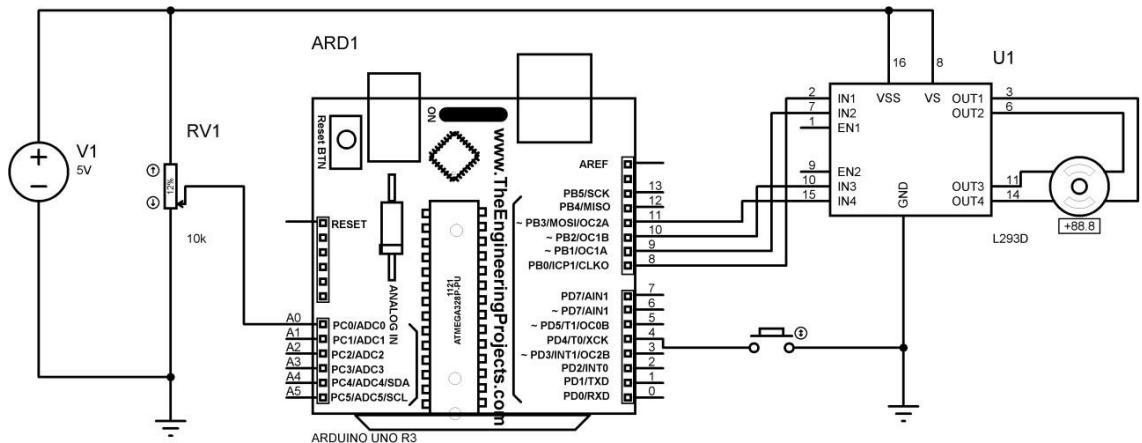
Tabel 4.22. Hasil percobaan 1.

No	Arduino		PSoC		Raspberry Pi	
	Arah Putar	Kecepatan Rotasi	Arah Putar	Kecepatan Rotasi	Arah Putar	Kecepatan Rotasi
1						
2						
3						
4						

5						
6						
7						
8						
9						
Kesimpulan						

Percobaan 2:

1. Siapkan alat dan bahan
2. Rangkai rangkaian sederhana pengendali motor stepper bipolar menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.23. Rangkaian percobaan 2.

3. Sambungkan Pin 1, 9, dan 16 IC driver L293D dengan sumber tegangan 5V dari Arduino Uno R3.
4. Sambungkan pin Input 1, 2, 3, dan 4 pada IC driver L293D dengan pin masukan 1 (pertama), 2 (kedua), 3 (ketiga), dan 4 (keempat) secara berurutan pada Arduino Uno R3.
5. Sambungkan pin keluaran 1, 2, 3, dan 4 pada IC driver L293D dengan pin A1, A2, B1, dan B2 secara berurutan pada Motor Stepper.
6. Sambungkan pin 8 IC driver L293D dengan sumber tegangan eksternal yang nilainya sama dengan sumber tegangan kebutuhan motor stepper.

7. Sambungkan *ground* IC driver L293D dengan *ground* motor stepper dan Arduino Uno R3.
8. Buat dan unggah kode program Arduino Uno R3 yang sudah sesuai dengan tuntutan rancangan pada Arduino Uno R3 untuk percobaan langsung. Berikut ini adalah referensi yang dapat digunakan sebagai kode program Arduino Uno R3.

```

#include <Stepper.h>
#define STEPS 5
Stepper stepper(STEPS, 8, 10, 11, 13);

const int tombol = 2;
const int pot = A8;

void setup() {
    pinMode(button, INPUT_PULLDOWN);
}

int arah = 1, kecepatan = 0;
void loop() {
    if (digitalRead(tombol) == 0)
        if(debounce()){
            arah *= -1;
            while(debounce());
        }
    int val = analogRead(pot);
    if(kecepatan != map(val,0,1023,5,200)){
        kecepatan = map(val, 0, 1023, 5, 100);
        stepper.setSpeed(kecepatan);
    }
    stepper.step(arah);
}

bool debounce(){
    byte count = 0;
    for (byte i = 0; i < 5; i++){
        if(digitalRead(button) == 0)
            count++;
        delay(10);
    }
    if(count > 2) return 1;
    else return 0;
}

```

9. Amati dan catat pada tabel hasil pengamatan di bawah ini.

10. Ulangi langkah 1 s.d 9 dengan mengubah mikrokontroler menjadi PSoC dan Raspi dan silakan buat kode program untuk PSoC dan Raspi dengan keadaan, parameter dan variabel yang sama seperti pada Arduino Uno R3.

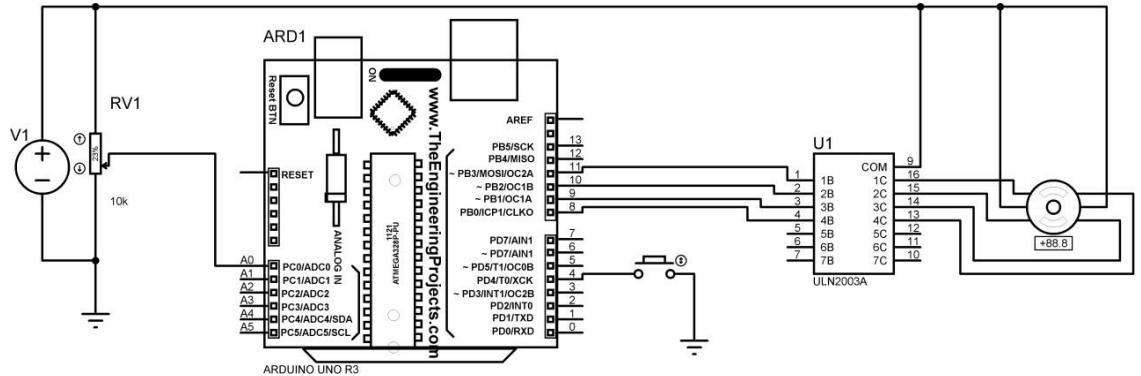
Catatan: Kolom jumlah langkah (*steps*) diisi dengan kecepatan rotasi motor setiap menit (*rotation per minute*). Setiap 1 nilai jumlah langkah (*steps*) untuk 1 putaran penuh motor stepper, kolom kondisi tombol diisi dengan arah putaran motor ketika tombol sebelum dan sesudah ditekan. Variasikan jumlah langkah (*steps*) untuk 1 putaran penuh motor stepper sebanyak 3 buah variasi

Tabel 4.23. Hasil percobaan 2.

No	Arduino Uno R3		Raspi		PSoC	
	Jumlah langkah	Kondisi Tombol	Jumlah langkah	Kondisi Tombol	Jumlah langkah	Kondisi Tombol
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Kesimpulan						

Percobaan 3:

1. Siapkan alat dan bahan
2. Rangkai rangkaian sederhana pengendali motor stepper unipolar berdasarkan diagram perkabelan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.24. Rangkaian percobaan 3.

3. Sambungkan pin 1, 2, 3, dan 4 pada IC driver ULN2003A dengan pin digital 8, 9, 10, dan 11 pada Arduino Uno R3 secara berurutan.
 4. Sambungkan pin 16 dan 15 pada IC driver ULN2003A dengan pin A dan B pada motor stepper unipolar.
 5. Sambungkan pin 14 dan 13 pada IC driver ULN2003A dengan pin C dan D pada motor stepper unipolar.
 6. Sambungkan sambungan antara lilitan 1 (pertama) dan 2 (kedua) serta sambungan antara lilitan 3 (ketiga) dan 4 (keempat) dengan sumber tegangan operasi motor stepper unipolar.
 7. Sambungkan *ground* IC driver ULN2003A, motor stepper, dan mikrokontroler dengan *ground* sumber tegangan eksternal motor stepper.
 8. Buat dan unggah kode program Arduino Uno R3 yang sesuai dengan tuntutan rancangan pada Arduino Uno R3 untuk percobaan langsung. Berikut ini adalah referensi kode program Arduino Uno R3 untuk percobaan 3.

```

#include <Stepper.h>
#define STEPS 53
Stepper stepper(STEPS, 7, 9, 10, 13);
const int button = 2;
const int pot = A3;
void setup()
{
    pinMode(tombol, INPUT_PULLUP);
}
int direction_ = 1, speed_ = 0;
void loop()
{
    if ( digitalRead(tombol) == 1 )
        if ( debounce() )
        {
            direction_ *= -1;
            while ( debounce() ) ;
        }
    int val = analogRead(potensio);
    if ( speed_ != map(value, 0, 1023, 2, 500) )
    { // if the speed was changed
        speed_ = map(value, 0, 1023, 2, 500);
        // set the speed of the motor
        stepper.setSpeed(speed);
    }

    // move the stepper motor
    stepper.step(direction);
}
bool debounce()
{
    byte count = 0;
    for(byte i = 0; i < 5; i++) {
        if (digitalRead(button) == 0)
            count++;
        delay(1000);
    }
    if(count > 2) return 0;
    else return 1;
}

9. Ulangi langkah 1 s.d 8 dengan mengubah mikrokontroler menjadi PSoC dan Raspi dan silakan buat kode program untuk PSoC dan Raspi dengan keadaan, parameter dan variabel yang sama seperti pada Arduino Uno R3.

10. Amati dan catat hasil percobaan pada tabel hasil pengamatan di bawah ini.

```

Tabel 4.24. Hasil percobaan 3.

No	Arduino Uno		PSoC		Rasberry Pi	
	Jumlah langkah	Arah putar	Jumlah langkah	Arah putar	Jumlah langkah	Arah putar
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Kesimpulan						

Catatan: Kolom jumlah langkah (*steps*) diisi dengan kecepatan rotasi motor setiap menit (*rotation per minute*). Setiap 1 nilai jumlah langkah (*steps*) untuk 1 putaran penuh motor stepper, kolom kondisi tombol diisi dengan arah putaran motor ketika tombol sebelum dan sesudah ditekan. Variasikan jumlah langkah (*steps*) untuk 1 putaran penuh motor stepper sebanyak 3 buah variasi.

I. Modul PSI-09: Studi Kasus Sistem Instrumentasi: Analog

Silakan berkoordinasi dengan asisten instruktur masing-masing untuk studi kasus sistem yang harus Anda selesaikan.

J. Modul PSI-10: Studi Kasus Sistem Instrumentasi: Digital

Silakan berkoordinasi dengan asisten instruktur masing-masing untuk studi kasus sistem yang harus Anda selesaikan.

Daftar Pustaka

- [1] Jacob Fraden, *Handbook of Modern Sensors - Physics, Design, and Applications*. Springer International Publishing, 2016.
- [2] “What is a cpu and what is its function,” *Hubspire*. <https://www.hubspire.com/what-is-a-cpu-and-what-is-its-function/>
- [3] Norman S. Nise, *Control System Engineering*, 6th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Hartmut Janocha, *Actuators: Basic and Applications*. Berlin: Springer International Publishing, 2004.
- [5] “SRF-05_Datasheet.pdf.”
- [6] “Sharp-GP2D12_Datasheet.pdf.”
- [7] C. Anisha, D. N. Devidas, dan V. K. N. Ekoskar, “Wireless Communication Using HC-05 Bluetooth Module Interfaced with Arduino,” *IJETR*, vol. 5, no. 4, pp. 2278–7798, 2016.
- [8] “FSR_Datasheet.pdf.”
- [9] T. Agarwal, “Know about Force Sensing Resistor Technology,” *El-Pro-Cus*, 2017. <https://www.elprocus.com/force-sensing-resistor-technology/>
- [10] D. Giovanelli, E. Farella, “Force Sensing Resistor and Evaluation of Technology for Wearable Body Pressure Sensing,” 2017.
- [11] P. S. Dewantara, “Alat Penghitung Berat Badan Manusia dengan Standart Body Mass Index (BMI) Menggunakan Sensor Load Cell Berbasis Arduino Mega 2560 R3,” *GEMA Teknologi*, vol. 18, no. 3, pp. 100–104, 2015.
- [12] Neeraj Gupta, Suman, S. Yadav, “Electricity Generation Due to Vibration of Moving Vehicles Using Piezoelectric Effect,” *Materials Science*, 2014.
- [13] “Piezoelectric_Datasheet.pdf.”
- [14] C. Acar, A. Shkel, *MEMS Vibratory Gyroscopes: Structural Approaches to Improve Robustness*. New York: Springer International Publishing, 2009.
- [15] Dhiya Almiranda Hani, “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Getaran Jembatan Berbasis Transduser Giroskop,” Undergraduate Thesis, Universitas Gadjah Mada, D. I. Yogyakarta, 2019.
- [16] “TGS822-Figaro_Datasheet.pdf.”

- [17] Sourav Gupta, "Gas Detection and PPM Measurement using PIC Microcontroller and MQ Gas Sensors," *Circuit Digest*, Jan. 21, 2020. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/gas-detection-and-ppm-measurement-using-pic-microcontroller-and-mq-gas-sensor>
- [18] "MH-Z19_Datasheet.pdf."
- [19] oktaf.ad, "Sensor LM 35," *Menara Ilmu Mikrokontroller Universitas Gadjah Mada*, Feb. 10, 2018. <https://mikrokontroler.mipa.ugm.ac.id/2018/10/02/sensor-lm-35/>
- [20] T. Liu, "Capacitive-type humidity and temperature module/sensor," p. 10.
- [21] "DS18B20_Datasheet.pdf."
- [22] Gita Krisdayanes, "Penggunaan Thermocouple Type K pada Oven Pemanggang Kue sebagai Sensor Temperatur berbasis Mikrokontroler ATmega328," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2019.
- [23] "SHT20_Datasheet.pdf."
- [24] "Light dependent resistors," p. 4.
- [25] "PIR_Datasheet.pdf."
- [26] "BH1750 – Ambient Light Sensor," *Components 101*. <https://components101.com/sensors/bh1750-ambient-light-sensor> (accessed Sep. 02, 2022).
- [27] "UVM30A_Datasheet.pdf."
- [28] "MotorDC-RF300FA_Datasheet.pdf."
- [29] "Buzzer-PS1920P02_Datasheet.pdf."
- [30] Dejan, "How Servo Motor Works & How To Control Servos using Arduino," *How To Mechanics*. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/> (accessed Feb. 13, 2022).
- [31] R. Rinaldy, R. F. Christianti, and D. Supriyadi, "Pengendalian Motor Servo Yang Terintegrasi Dengan Webcam Berbasis Internet Dan Arduino," *INFOTEL*, vol. 5, no. 2, Apr. 2014, doi: 10.20895/infotel.v5i2.59.
- [32] Ulinnuha Latifa and Joko Slamet Saputro, "PERANCANGAN ROBOT ARM GRIPPER BERBASIS ARDUINO UNO MENGGUNAKAN ANTARMUKA LABVIEW," *Universitas Singaperbangsa Karawang*, vol. 3, no. 2, pp. 138–141, Aug. 2018.
- [33] Anonim, "28BYJ-48 - 5V Stepper Motor," *components101*, Mar. 05, 2021. <https://components101.com/motors/28byj-48-stepper-motor> (accessed Feb. 11, 2022).
- [34] H. Janocha, Ed., *Actuators*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. doi: 10.1007/978-3-662-05587-8.

- [35] D. Kho, "Pengertian Relay dan Fungsi Relay," *Teknik Elektronika*, Mar. 07, 2015. <https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/> (accessed Mar. 12, 2023).
- [36] R. abadi, "Relay: Pengertian, Fungsi, Gambar Simbol, Cara Kerja, Jenis," Feb. 08, 2023. <https://thecityfoundry.com/relay/> (accessed Mar. 12, 2023).
- [37] S. A. Ginzburg, I. I. A. Lekhtman, and V. S. Malov, *Fundamentals of Automation and Remote Control*. Pergamon Press, 1966. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=DAhIAQAAIAAJ>
- [38] Anonim, "Mengenal Motor Stepper : Pengertian, Cara Kerja dan Jenisnya," *andalanelektro.id*. Jan. 2021. Accessed: Feb. 08, 2022. [Online]. Available: <https://www.andalanelektro.id/2021/01/mengenal-motor-stepper.html>
- [39] Carmine Fiore, "Stepper Motors Basics: Types, Uses, and Working Principles," *monolithicpower.com*. <https://www.monolithicpower.com/en/stepper-motors-basics-types-uses> (accessed Feb. 08, 2022).
- [40] Anonim, "Mengenal Motor Stepper : Pengertian, Cara Kerja dan Jenisnya," *andalanelektro.id*, Jan. 28, 2021. <https://www.andalanelektro.id/2021/01/mengenal-motor-stepper.html> (accessed Feb. 08, 2022).
- [41] Anonim, "Motor Stepper," *Elektronika Dasar*, Agustus 2021. <http://elektronika-dasar.web.id/motor-stepper/> (accessed Feb. 08, 2022).
- [42] Ahmad Wahyudi, "Motor Stepper, Jenis, Fungsi, Cara Kerja," *TPTUMETRO*. <https://www.tptumetro.com/2021/09/motor-stepper-jenis-fungsi-cara-kerja.html> (accessed Feb. 09, 2022).
- [43] Anonim, "Pengendali Motor Stepper," *Elektronika Dasar*, Agustus 2021. <http://elektronika-dasar.web.id/pengendali-motor-stepper/> (accessed Feb. 10, 2022).
- [44] HuaNing Motor, "28BYJ48 Motor Specification." ETC1. Accessed: Feb. 11, 2022. [Online]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1245086/ETC1/28BYJ48/111/1/28BYJ48.html>
- [45] Stan, "28BYJ-48 Stepper Motor with ULN2003 driver and Arduino Uno," *42 Blogs*, Mar. 01, 2014. <http://42bots.com/tutorials/28byj-48-stepper-motor-with-uln2003-driver-and-arduino-uno/> (accessed Feb. 11, 2022).
- [46] Techref, "Stepper Motor NEMA Sizes," *massmind.org*, Desember 2021. <http://techref.massmind.org/techref/io/stepper/nemasizes.htm> (accessed Feb. 13, 2022).
- [47] "Arduino-UNO_Datasheet.pdf."
- [48] "PSoC® 5LP: CY8C58LP Family Datasheet Programmable System-on-Chip (PSoC®)," no. 001, p. 140.

[49] Raspberry Pi Foundation, “Raspberry Pi 3 Model B,” *Raspberry Pi*.
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>

~~~~Teruslah berjuang dan berbuat baik di kehidupan yang hanya sekali  
dan sementara ini, jangan lupa bahagia karena kalian semua berharga~~~~