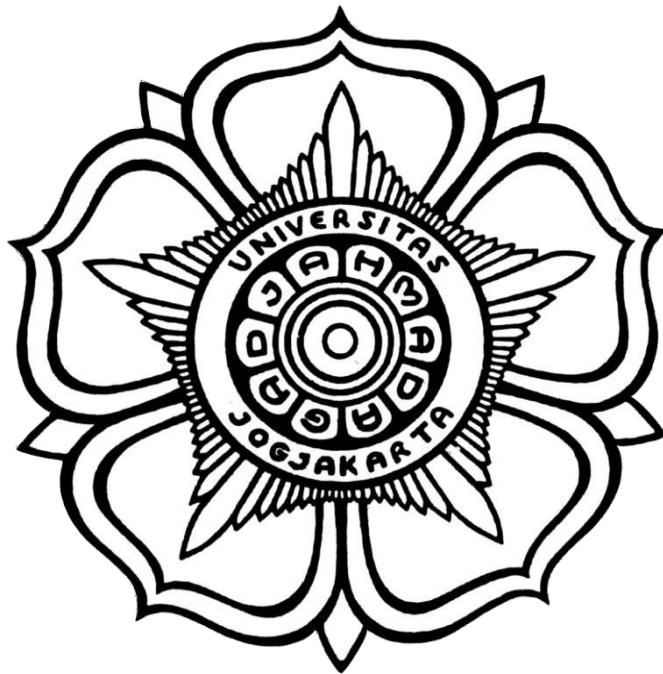


MODUL PRAKTIKUM SISTEM INSTRUMENTASI

(TKF213212)



Dosen Pengampu:

Prof. Ir. Sunarno, M.Eng., Ph.D., IPU.
Dr. Eng. Dwi Joko Suroso, S.T., M.Eng.

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

2025

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya modul praktikum Sistem Instrumentasi. Sesuai dengan moto 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 praktek 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.....	i
RENCANA PROGRAM DAN KEGIATAN PEMBELAJARAN SEMESTER (RPKPS).....	ii
Daftar Isi.....	iii
Daftar Gambar.....	v
Daftar Tabel.....	ix
I. Latar Belakang dan Tujuan Praktikum	1
Tujuan	1
II. Praktikum Prasyarat	1
III. Dasar Teori.....	2
1. Sensor, Transduser, dan Detektor	2
2. Prosesor dan <i>Controller</i>	2
3. Aktuator.....	3
4. SRF05.....	3
5. Sharp GP2D12	6
6. FSR.....	7
7. <i>Load Cell</i>	10
8. HX711	12
9. Piezoelektrik	14
10. MPU6050.....	15
11. <i>Condenser</i>	19
12. TGS822	22
13. MQ6.....	24
14. MH-Z19.....	25
15. LM35.....	28
16. DHT22.....	30
17. DS18B20	31
18. <i>Thermocouple</i> tipe K.....	31
19. MAX6675.....	32
20. SHT20	33
21. LDR	34
22. <i>Photodiode</i>	37
23. PIR	38
24. BH1750.....	40
25. UVM	41
26. PZEM-017.....	42
27. INA219	45
28. PZEM-004T.....	47
29. SCT-013	50
30. ACS712	52

31.	<i>Motor DC</i>	54
32.	<i>Motor Servo</i>	57
33.	<i>Motor Stepper</i>	62
34.	<i>Relay</i>	77
35.	Arduino.....	80
36.	PSoC.....	80
IV.	Percobaan	83
A.	Modul PSI-01: Sistem Sensor Jarak.....	83
B.	Modul PSI-02: Sistem Sensor Massa Objek	89
C.	Modul PSI-03: Sistem Sensor Audio & Getaran	96
D.	Modul PSI-04: Sistem Sensor Kadar Gas	103
E.	Modul PSI-05: Sistem Sensor Suhu dan Kelembaban	107
F.	Modul PSI-06: Sistem Sensor Gelombang Cahaya	112
G.	Modul PSI-07: Sistem Sensor Tegangan dan Arus Listrik.....	116
H.	Modul PSI-08: Sistem Aktuator: Motor <i>Servo</i> , Motor <i>Stepper</i> , Motor DC, dan <i>Relay</i>	124
I.	Modul PSI-09: Studi Kasus Sistem Instrumentasi: Analog	132
J.	Modul PSI-10: Studi Kasus Sistem Instrumentasi: Digital.....	132
Daftar Pustaka	133	

Daftar Gambar

Gambar III.1. SRF05	4
Gambar III.2. Beam angle SRF05	5
Gambar III.3. Skema pin SRF05	5
Gambar III.4. Timing diagram SRF05	6
Gambar III.5. Diagram blok sensor Sharp GP2D12.....	6
Gambar III.6. Pin sensor Sharp GP2D12	7
Gambar III.7. FSR	8
Gambar III.8. Bagian-bagian penyusun FSR.....	8
Gambar III.9. Penampang membujur FSR saat ditekan gaya sebesar F	9
Gambar III.10. Skema FSR	10
Gambar III.11. Sensor load cell.....	10
Gambar III.12. Rangkaian jembatan Wheatstone.....	11
Gambar III.13. Modul HX711.....	12
Gambar III.14. Pin IC HX711	13
Gambar III.15. Sensor piezoelektrik	14
Gambar III.16. Efek piezoelektrik pada kuarsa (SiO_2).....	14
Gambar III.17. Antarmuka sistem sensor piezoelektrik	15
Gambar III.18. Nilai luaran akselerometer yang dipengaruhi oleh arah gravitasi	16
Gambar III.19. Pin modul MPU-6050	17
Gambar III.20. Giroskop MEMS linear.....	17
Gambar III.21. MPU6050.....	19
Gambar III.22. Desain skematis mikrofon kondensor	20
Gambar III.23. Bentuk fisik mikrofon kondenser	21
Gambar III.24. Pin mikrofon kondenser	21
Gambar III.25. Diagram skematis penggunaan mikrofon kondenser	22
Gambar III.26. Prinsip kerja sensor gas MOS-type.....	22
Gambar III.27. Sensor TGS822.....	23
Gambar III.28. Rangkaian sensor TGS822	23
Gambar III.29. MQ6.....	24
Gambar III.30. Rangkaian sensor MQ6.....	24
Gambar III.31. Cara kerja NDIR.....	25
Gambar III.32. MH-Z19	25
Gambar III.33. Konfigurasi pin MH-Z19.....	26
Gambar III.34. Luaran PWM MH-Z19	27
Gambar III.35. Data luaran UART MH-Z19	28
Gambar III.36. Tampak depan dan bawah LM35	29

Gambar III.37. DHT22	30
Gambar III.38. Thermocouple Tipe K	32
Gambar III.39. Sensor MAX6675	33
Gambar III.40. Kurva disipasi energi dari LDR	35
Gambar III.41. Respons frekuensi dari LDR	36
Gambar III.42. Kurva hubungan antara resistansi LDR dengan intensitas Cahaya	36
Gambar III.43. Karakteristik photodiode (BPV10NF Silicon PIN Photodiode).....	38
Gambar III.44. Sensor PIR.....	39
Gambar III.45. Skema pin sensor PIR dan penjelasannya	40
Gambar III.46. Kurva respons sensor UV.....	42
Gambar III.47. Indeks UV berdasarkan tegangan keluaran modul sensor UV	42
Gambar III.48. Diagram perkabelan modul sensor PZEM-017 [28]	44
Gambar III.49. Skema pengukuran INA219 [29].....	45
Gambar III.50. INA219 [30].....	46
Gambar III.51. Prinsip kerja CT induktif [32]	48
Gambar III.52. Diagram perkabelan modul sensor PZEM-004T-100A [31].....	49
Gambar III.53. SCT-013.....	51
Gambar III.54. Skema rangkaian SCT-013	51
Gambar III.55. Grafik masukan-keluaran SCT-013 20A.....	52
Gambar III.56. Output audio jack SCT-013	52
Gambar III.57. Rangkaian IC ACS712	53
Gambar III.58. IC ACS712.....	53
Gambar III.59. Modul sensor ACS712	54
Gambar III.60. Motor DC	54
Gambar III.61. Kurva torsi motor DC RF-300FA.....	56
Gambar III.62. Gambar teknik dari motor DC RF-300FA.....	56
Gambar III.63. Diagram kalang tertutup	57
Gambar III.64. Bagian-bagian motor servo	57
Gambar III.65. Fungsi PWM pada motor servo	58
Gambar III.66. Rentang peforma motor servo: a. motor BLDC, b. motor AC; 25%, 40%: siklus faktor durasi.....	59
Gambar III.67. Blok diagram rangkaian kendali untuk motor servo	60
Gambar III.68. Wiring diagram motor servo tipe SG90 9g dan tipe MGS90s	61
Gambar III.69. Duty cycle terhadap periode PWM	61
Gambar III.70. Duty cycle terhadap periode PWM	62
Gambar III.71. Konstruksi motor stepper.....	63
Gambar III.72. Konstruksi motor stepper jenis variable reluctance	64
Gambar III.73. Prinsip kerja motor stepper jenis variable reluctance	64

Gambar III.74. Konstruksi motor stepper jenis permanen magnet	65
Gambar III.75. Konstruksi motor stepper jenis hybrid yang telah disederhanakan	66
Gambar III.76. Struktur motor stepper jenis hybrid	67
Gambar III.77. Pengendali motor stepper sederhana.....	68
Gambar III.78. Rangkaian dasar pengendali motor stepper	69
Gambar III.79. Pengendalian motor stepper menggunakan metode wave mode	69
Gambar III.80. Cara kerja pengendali motor stepper metode full step.....	70
Gambar III.81. Pengendali motor stepper menggunakan metode half wave	71
Gambar III.82. Cara kerja pengendali motor stepper metode microstepping	72
Gambar III.83. Motor stepper tipe 28BYJ-48 [43]	73
Gambar III.84. Gear ratio motor stepper unipolar tipe 28BYJ-48.....	73
Gambar III.85. Wiring motor stepper unipolar tipe 28BYJ-48 [38]	74
Gambar III.86. Rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe unipolar	75
Gambar III.87. Karakteristik motor stepper jenis bipolar	76
Gambar III.88. Warna dan konfigurasi kabel motor stepper jenis bipolar	76
Gambar III.89. Konfigurasi kabel motor stepper tipe bipolar	76
Gambar III.90. Rangkaian dasar pengendali motor stepper tipe bipolar	77
Gambar III.91. Hubungan torsi terhadap rotasi per menit motor stepper tipe bipolar	77
Gambar III.92. Bentuk dan simbol Relay [44].....	78
Gambar III.93. Struktur Relay [44].....	79
Gambar III.94. Model karakteristik relay [46]	79
Gambar III.95. Diagram blok PSoC	81
Gambar IV.1. Diagram alir Sharp GP2D12	86
Gambar IV.2. Diagram alir SRF05	87
Gambar IV.3. Rangkaian percobaan PSI-02.01 dan PSI-02.02	89
Gambar IV.4. Diagram alir program untuk percobaan PSI-02.01	91
Gambar IV.5. Rangkaian load cell dan HX711 pada Arduino UNO.....	92
Gambar IV.6. Rangkaian load cell + HX711 pada Raspberry Pi	93
Gambar IV.7. Rangkaian sensor piezoelektrik.....	96
Gambar IV.8. Rangkaian sensor MPU6050	97
Gambar IV.9. Rangkaian sensor kondenser	97
Gambar IV.10. Diagram alir sensor kondenser dan piezoelektrik.....	99
Gambar IV.11. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan PSoC dan Arduino	100
Gambar IV.12. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan Raspberry Pi.....	101
Gambar IV.13. Rangkaian photodiode pada Arduino	113
Gambar IV.14. Rangkaian percobaan PSI-07.01 dan PSI-07.03	117
Gambar IV.15. Rangkaian percobaan PSI-07.02 dan PSI-07.04	118
Gambar IV.16. Rangkaian percobaan PSI-07.05.....	119

Gambar IV.17. Rangkaian percobaan PSI-07.06.....	120
Gambar IV.18. Rangkaian percobaan PSI-08.01.....	125
Gambar IV.19. Rangkaian percobaan PSI-08.02.....	126
Gambar IV.20. Rangkaian percobaan PSI-08.03.....	128
Gambar IV.21. Rangkaian percobaan PSI-08.04.....	128
Gambar IV.22. Rangkaian percobaan PSI-08.05.....	129

Daftar Tabel

Tabel III.1. Karakteristik FSR406	9
Tabel III.2. Karakteristik load cell	11
Tabel III.3. Karakteristik sensor MPU-6050	16
Tabel III.4. Full-Scale Range (FSR) atau rentang keluaran sensor	18
Tabel III.5. Sensitivitas sensor	18
Tabel III.6. Spesifikasi mikrofon kondenser.....	21
Tabel III.7. Karakteristik sensor TGS822	23
Tabel III.8. Karakteristik MQ6.....	24
Tabel III.9. Karakteristik MH-Z19	25
Tabel III.10. Karakteristik LM35.....	29
Tabel III.11. Karakteristik DHT22	30
Tabel III.12. Karakteristik sensor DS18B20.....	31
Tabel III.13. Karakteristik sensor SHT20	33
Tabel III.14. Karakteristik pengukuran modul sensor PZEM-017 [28]	43
Tabel III.15. Alamat register untuk membaca hasil pengukuran PZEM-017 [28]	44
Tabel III.16. Alamat register untuk konfigurasi PZEM-017 [28]	45
Tabel III.17. Karakteristik INA219B [29]	46
Tabel III.18. Alamat slave I2C INA219 [30]	47
Tabel III.19. Alamat register pada INA219 [29]	47
Tabel III.20. Karakteristik pengukuran modul sensor PZEM-004T-100A [31]	49
Tabel III.21. Alamat register untuk membaca hasil pengukuran PZEM-004T [31]	50
Tabel III.22. Alamat register untuk konfigurasi PZEM-017 [31]	50
Tabel III.23. Karakteristik SCT-013 20A	51
Tabel III.24. Karakteristik ACS712 20A	53
Tabel III.25. Karakteristik motor DC RF-300FA.....	55
Tabel III.26. Perbandingan pengendali servo yang menggunakan hidraulik dan elektrik	58
Tabel III.27. Perbandingan antara motor servo dc dan tiga fase	59
Tabel III.28. Perbandingan motor BLDC dan AC	60
Tabel III.29. Karakteristik motor servo tipe SG90 9g.....	61
Tabel III.30. Karakteristik motor servo tipe MGS90s	61
Tabel III.31. Contoh masukan metode full step	70
Tabel III.32. Masukan digital metode half wave	71
Tabel III.33. Karakteristik motor stepper unipolar tipe 28BYJ48 [42]	72
Tabel III.34. Hubungan pemberian energi pada setiap kabel terhadap step yang terjadi pada motor	74
Tabel III.35. Spesifikasi Arduino UNO	80

Tabel III.36. Spesifikasi Raspberry Pi 3B	82
Tabel IV.1. Alat dan bahan Modul PSI-01.....	83
Tabel IV.2. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-01.01a dan PSI-01.01b.....	87
Tabel IV.3. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-01.02a dan PSI-01.02b.....	88
Tabel IV.4. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-01.03a dan PSI-01.03b.....	88
Tabel IV.5. Alat dan bahan Modul PSI-02	89
Tabel IV.6. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.01	93
Tabel IV.7. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.02	94
Tabel IV.8. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.03	95
Tabel IV.9. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.04	95
Tabel IV.10. Alat dan bahan Modul PSI-03	96
Tabel IV.11. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-03.01	102
Tabel IV.12. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-03.02	102
Tabel IV.13. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-03.03	102
Tabel IV.14. Alat dan bahan Modul PSI-04.....	103
Tabel IV.15. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-04.01	105
Tabel IV.16. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-04.02	105
Tabel IV.17. Alat dan bahan Modul PSI-05.....	107
Tabel IV.18. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.01	110
Tabel IV.19. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.02	110
Tabel IV.20. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.03 (suhu).....	110
Tabel IV.21. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.03 (kelembapan).....	110
Tabel IV.22. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.04 (suhu).....	110
Tabel IV.23. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.04 (kelembapan).....	111
Tabel IV.24. Alat dan bahan Modul PSI-06.....	112
Tabel IV.25. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.01	114
Tabel IV.26. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.02	115
Tabel IV.27. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.03	115
Tabel IV.28. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.04 dan PSI-06.05	115
Tabel IV.29. Alat dan bahan Modul PSI-07.....	116
Tabel IV.30. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.01	120
Tabel IV.31. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.02	121
Tabel IV.32. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.03	121
Tabel IV.33. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.04	122
Tabel IV.34. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.05	122
Tabel IV.35. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.06	123
Tabel IV.36. Alat dan bahan Modul PSI-08.....	124
Tabel IV.37. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.01	130

Tabel IV.38. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.02	130
Tabel IV.39. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.03	131
Tabel IV.40. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.04, PSI-08.05, dan PSI-08.06.....	131

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, Kalibrasi Alat Ukur, dan Fungsi Alih Pengukuran.
- D. Praktikum Elektronika Digital: Gerbang Logika, *Flip-flop*, *Multiplexer*, *Counter & Timer*, ADC & DAC, dan PWM.
- E. Praktikum Jaringan Komunikasi: Protokol Komunikasi berbasis Kabel (I2C, SPI, UART, dan ModBus) dan Protokol Komunikasi berbasis Nirkabel (HTTP, MQTT, WebSocket).

III. Dasar Teori

1. Sensor, Transduser, dan Detektor

A. Sensor

Sensor adalah piranti yang menerima stimulus dan merespons 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 *Controller*

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:

i. *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.

ii. *Arithmetics Logical Unit*

Komponen yang melakukan perhitungan aritmetika 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.

iii. *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. *Controller*

Controller 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. 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 III.1. SRF05

SRF05 terdiri dari dua bagian, rangkaian pemancar gelombang ultrasonik dan rangkaian penerima gelombang ultrasonik. Rangkaian pemancar gelombang ultrasonik disusun oleh *chip* piezoelektrik dan pemancar suara (*speaker*), sedangkan rangkaian penerima gelombang ultrasonik terdapat *microphone ultrasonic*. Piezoelektrik merespons 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.

$$s = \frac{v \times t}{2}$$

dengan

s = jarak sensor ke objek (m)

v = cepat rambat gelombang di dalam medium (m/s)

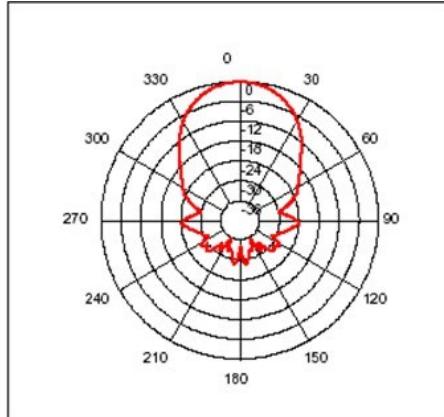
t = waktu tempuh gelombang (s)

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

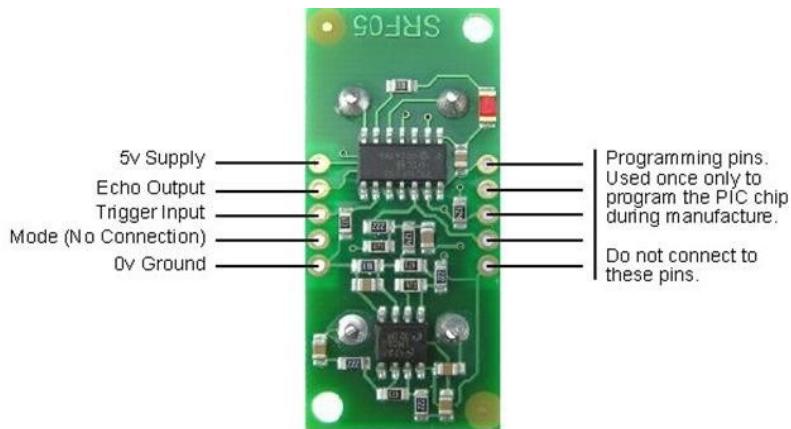
- Resolusi : 0,3 cm
- Supply Voltage : 4,5 – 5,5 V
- Supply Current : 10 – 40 mA [5]



Gambar III.2. Beam angle SRF05

C. Masukan dan Luaran

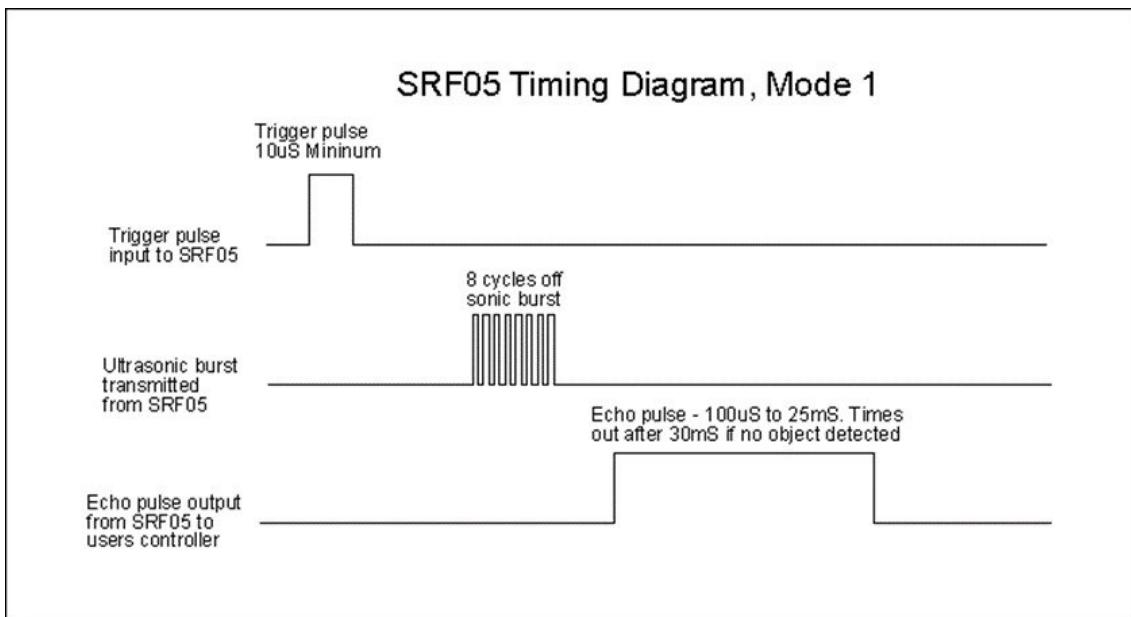
SRF05 terdapat 5 buah pin dengan skema seperti Gambar III.3. *Trigger* didefinisikan sebagai pin yang jika diberikan tegangan maka akan memberikan stimulan pada sensor agar bekerja. Sedangkan *echo* didefinisikan sebagai pin dengan nilai pulsa sebanding dengan jarak dan waktu tempuh gelombang.



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

Gambar III.3. Skema pin SRF05

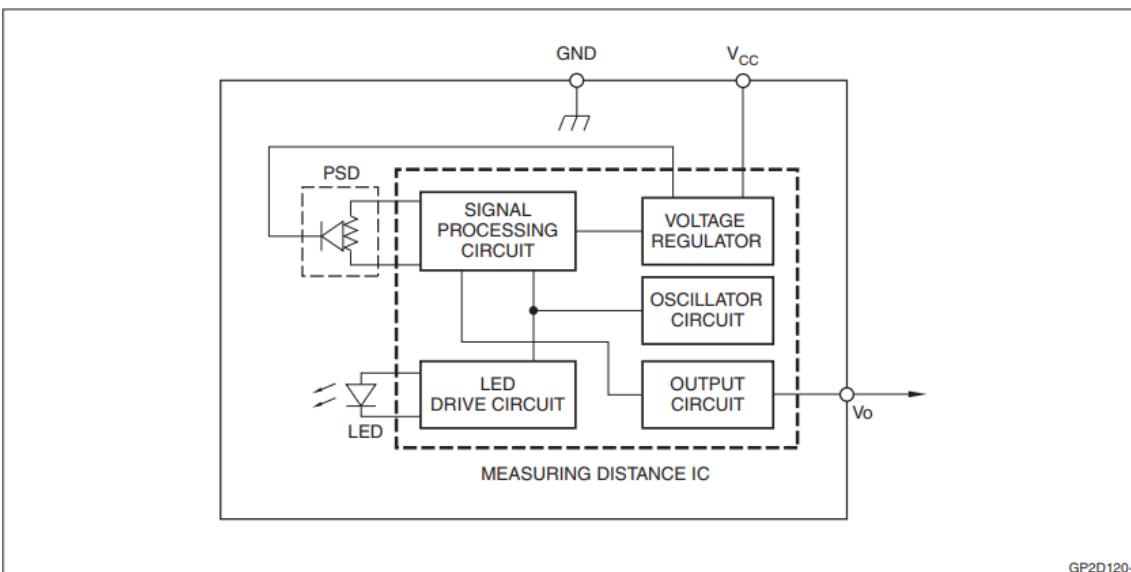
Hal yang perlu dilakukan adalah dengan memberikan pulsa digital pada pin *trigger*, sehingga SRF05 akan mentransmisi 40 kHz gelombang. Pada pin *echo* perhatikan pulsa yang ditunjukkan. Pada saat pin *echo* menunjukkan pulsa *low* maka dapatkan waktu yang berlangsung selama pulsa *echo* dalam kondisi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



Gambar III.4. Timing diagram SRF05

5. Sharp GP2D12

A. Fenomena Fisis



Gambar III.5. Diagram blok sensor Sharp GP2D12

Modul Sharp GP2D12 bekerja dengan mula-mula menyalakan 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 fotoelektrik internal (*internal photoelectric effect*). Arus yang terjadi

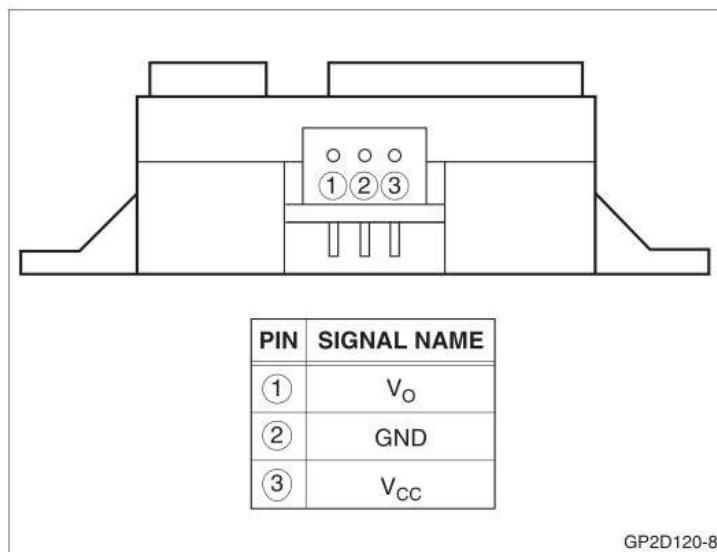
hanya dihasilkan ketika energi foton dari cahaya pantulan lebih besar dari selisih energi yang diperlukan *carrier* (elektron atau *hole*) untuk berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi. Arus inilah yang menjadi masukan ke dalam rangkaian listrik untuk luaran (*output circuit*) di dalam modul. *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 (Vcc) : 4,5 – 5,5 V
- Tegangan Luaran (Vo) : -0,3 – Vcc+0,3 V
- Rerata Arus Operasi : 33 mA
- Rentang Pengukuran Jarak : 4–30 cm
- Rerata Response Time : 39 ms
- Rerata Time Delay : 44 ms []

C. Masukan dan Luaran

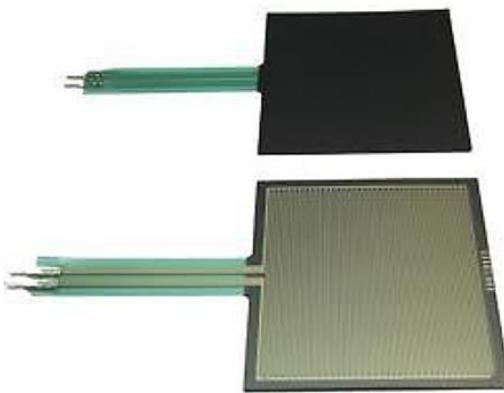


Gambar III.6. Pin sensor Sharp GP2D12

Sensor Sharp GP2D12 memiliki 3 pin sebagai masukan dan luaran, seperti yang ditampilkan pada Gambar III.6. Pin 1 akan membawa data luaran sensor berupa tegangan. Pin 1 nantinya akan terhubung ke alat ukur atau *controller*. 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

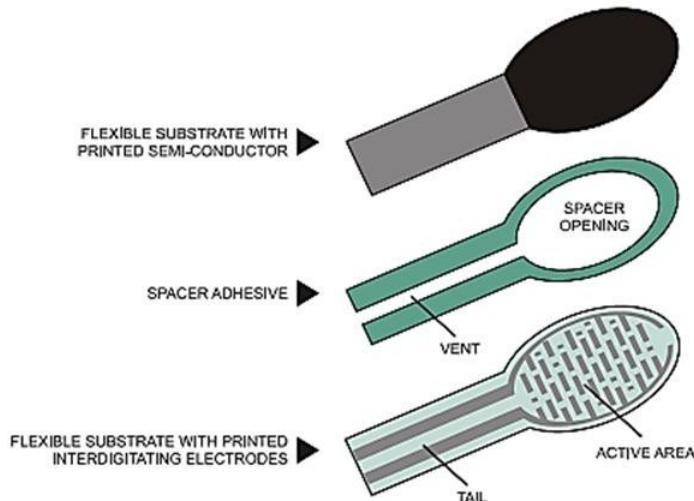
A. Fenomena Fisis



Gambar III.7. FSR

Sensor *Force Sensing Resistor* atau FSR merupakan suatu sensor yang dapat mengubah gaya tekan menjadi resistansi [7]. Sensor FSR ditunjukkan oleh Gambar III.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 III.8.

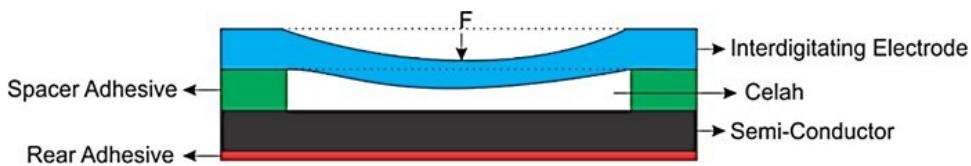
Interdigitating electrode atau *active area* merupakan bahan konduktor yang terhubung dengan sumber tegangan. *Active area* dibuat beruas-ruas dan tidak tersambung agar arus listrik tidak dapat mengalir, kecuali terdapat wilayah yang dapat menghubungkan tiap lapisan pada *active area*. Saat *active area*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



Gambar III.8. Bagian-bagian penyusun FSR

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 III.9. Penampang membujur FSR saat ditekan gaya sebesar F

B. Karakteristik

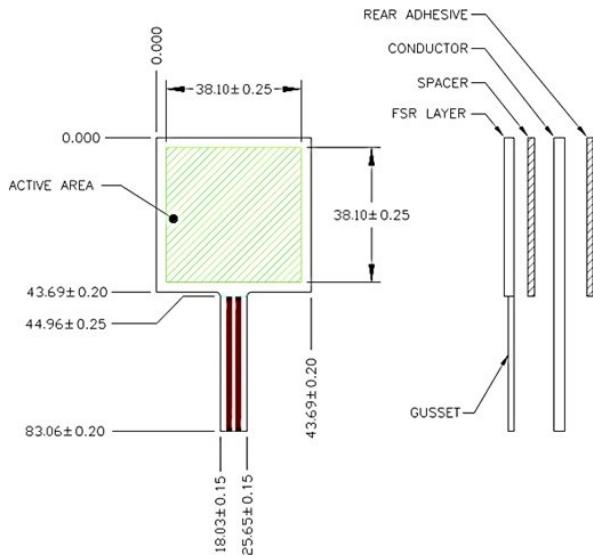
Karakteristik sensor FSR ditunjukkan oleh Tabel III.1.

Tabel III.1. Karakteristik FSR406

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 × 43,69 mm
8.	Rentang Ketebalan	0,2 – 1,25 mm
9.	Resistansi <i>Stand-Off</i>	>10 MΩ
10.	Rentang Temperatur Operasi	-30 – 70°C

C. Masukan dan Luaran

Sensor FSR terdapat 2 buah kaki dengan skema seperti Gambar III.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.

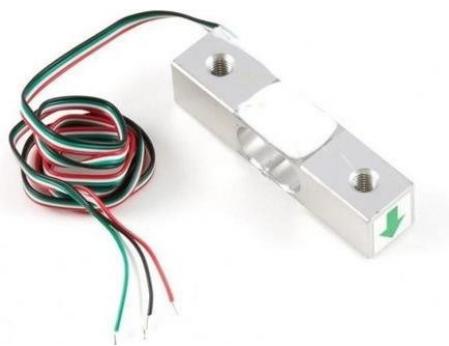


Gambar III.10. Skema FSR

7. Load Cell

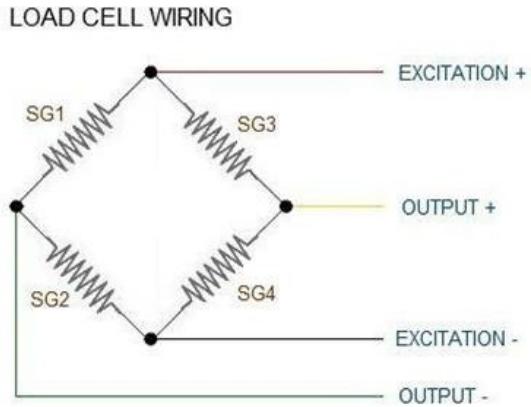
A. Fenomena Fisis

Sensor *load cell* adalah sensor yang mengeluarkan sinyal listrik sebanding dengan gaya atau beban yang diterimanya [11]. Sensor *load cell* ditunjukkan oleh Gambar III.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 III.11. Sensor load cell

Prinsip kerja dari sensor *load cell* berhubungan dengan rangkaian jembatan *Wheatstone* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar III.12. Hal ini dikarenakan sensor *load cell* mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Keluaran listrik tersebut dapat diketahui besarnya dengan mengukur perubahan hambatan listrik pada sensor *load cell*. Perubahan ini sebanding dengan keluaran tegangan dari sensor.



Gambar III.12. Rangkaian jembatan Wheatstone

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.

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

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Kapasitas	1–50kg
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	9–12 V

7.	Efek Perubahan Suhu	$\pm 0,03 \%F.S/10^\circ C$
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

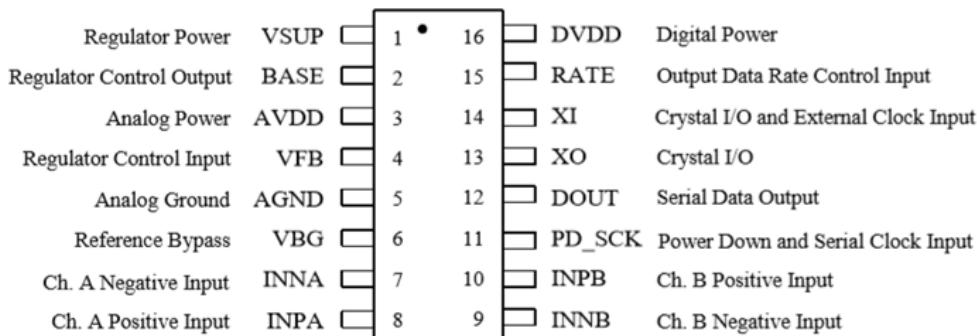
A. Rangkaian dan Cara Kerja

Modul HX711 adalah modul yang berfungsi untuk mengonversi perubahan yang terukur (analog) dalam perubahan resistansi menjadi besaran tegangan (digital). Gambar III.13 menunjukkan modul HX711, sedangkan konstruksi dari IC HX711 ditunjukkan oleh Gambar III.14. Modul ini biasanya juga digunakan untuk menguatkan sinyal keluaran dari sensor sebelum dapat diolah oleh *microcontroller*. Keluaran digital ini berbentuk heksadesimal. Spesifikasi modul HX711 sebagai berikut.

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



Gambar III.13. Modul HX711



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 III.14. Pin 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.

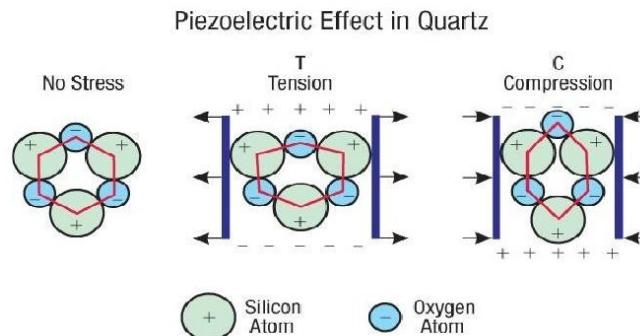
9. Piezoelektrik

A. Fenomena Fisis



Gambar III.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.



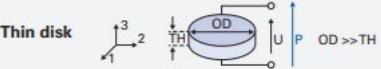
Gambar III.16. Efek piezoelektrik pada kuarsa (SiO_2)

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 diindra 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

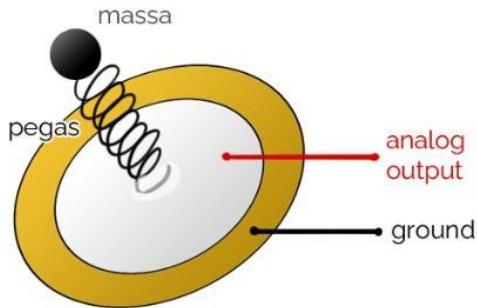
- Toleransi frekuensi : $\pm 5\% (\leq 2 \text{ MHz}), \pm 10\% (\geq 2 \text{ MHz})$ [13]
- Frekuensi resonansi :

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 III.17. Antarmuka sistem sensor piezoelektrik

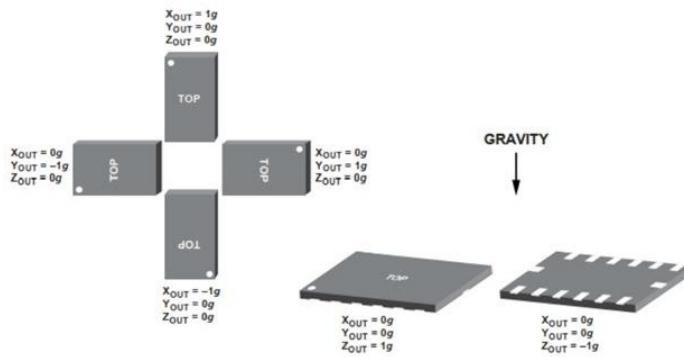
10. MPU6050

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 III.18.



Gambar III.18. Nilai luaran akselerometer yang dipengaruhi oleh arah gravitasi

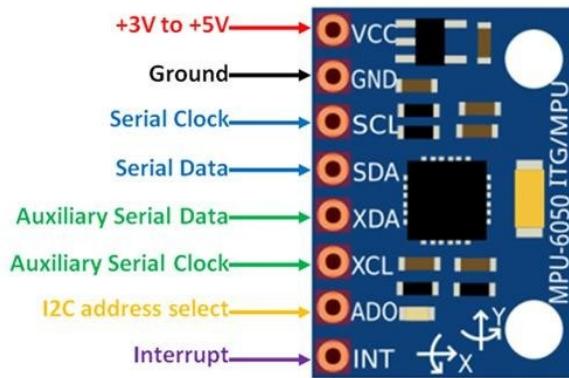
B. Karakteristik

Tabel III.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	± 80 mg

C. Masukan dan Luaran

Modul MPU-6050 memiliki 8 pin sesuai dengan Gambar III.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 III.19. Pin modul MPU-6050

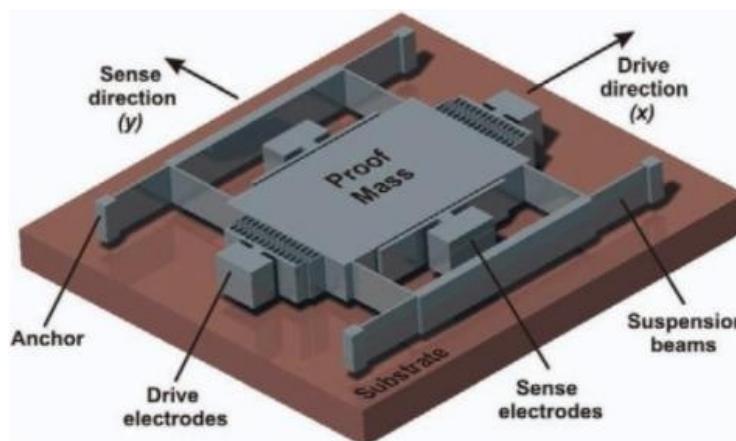
Masukan yang diterima yaitu berupa getaran atau percepatan akibat perubahan dari suatu gerakan. Masukan tersebut kemudian akan diterima oleh sensor dalam MPU-6050 dan mengeluarkan informasi analog berupa tegangan yang akan dikonversi menjadi informasi digital oleh ADC 16-bit yang tertanam dalam modul tersebut. Sehingga luaran dari modul ini adalah informasi digital mengenai nilai akselerasi untuk 3 sumbu (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 akselerometer 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 III.20. Giroskop MEMS linear

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 $2m(v \times \Omega)$ [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 III.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 III.5. Sensitivitas sensor

Kondisi	Skala Sensitivitas LSB/(°/s)
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 operasi.
- 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 III.21. MPU6050

MPU6050 terdiri dari 8 pin, sesuai dengan Gambar III.21. Pin VCC diberi tegangan masukan 3,3 V. Pin SCL dan SDA dihubungkan dengan pin SCL dan SDA *controller*. Sebetulnya, MPU6050 memiliki 3 jenis keluaran: 3 sumbu giroskop, 3 sumbu akselerometer, serta suhu. Oleh karena itu, 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

i. 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).

ii. 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.

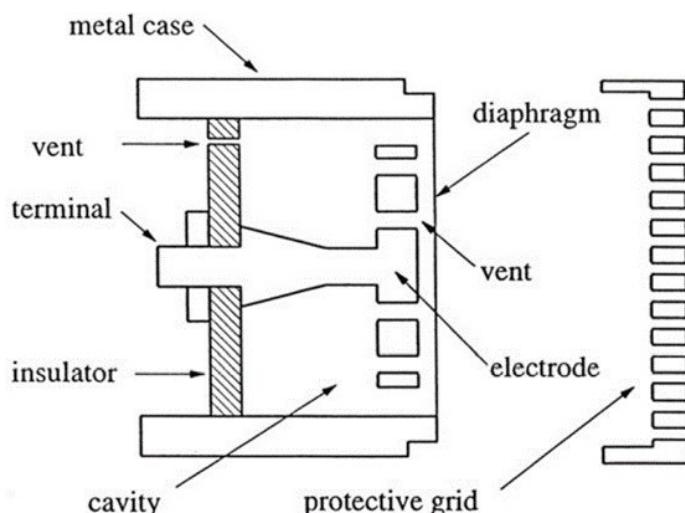
Audio analog mewakili suara dengan tegangan AC yang bertepatan dengan suara. Dalam konversi sempurna antara suara dan audio atau sebaliknya, tegangan AC ini akan memiliki frekuensi dan amplitudo relatif yang sama dengan gelombang suara itu sendiri.

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.

iii. Kondensor

Mikrofon kondensor sekarang menjadi jenis transduser yang paling umum untuk mikrofon pengukuran yang presisi, mikrofon studio, dan mikrofon elektret 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 III.22.



Gambar III.22. Desain skematis mikrofon kondensor

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 elektret 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



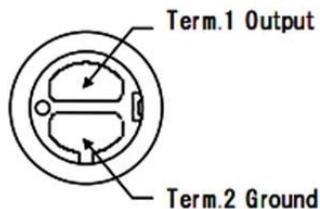
Gambar III.23. Bentuk fisik mikrofon kondenser

Tabel III.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

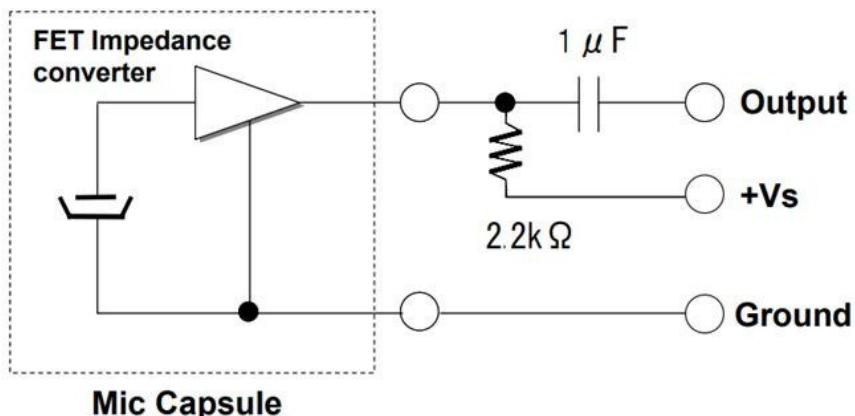
C. Masukan dan Luaran

Mikrofon kondensor elektret memiliki *pin-out* seperti pada Gambar III.24. Terminal 1 dihubungkan dengan *microcontroller* yang akan menerima luaran dari kondensor. Terminal 2 dihubungkan dengan *ground* yang juga berada di *microcontroller*.



Gambar III.24. Pin mikrofon kondenser

Selain itu, terminal 1 pun perlu dihubungkan dengan tegangan masukan Vs untuk dapat memberi bias pada *preamp FET* yang ada di dalam kapsul kondensor. Rangkaian yang diperlukan seperti pada Gambar III.25.

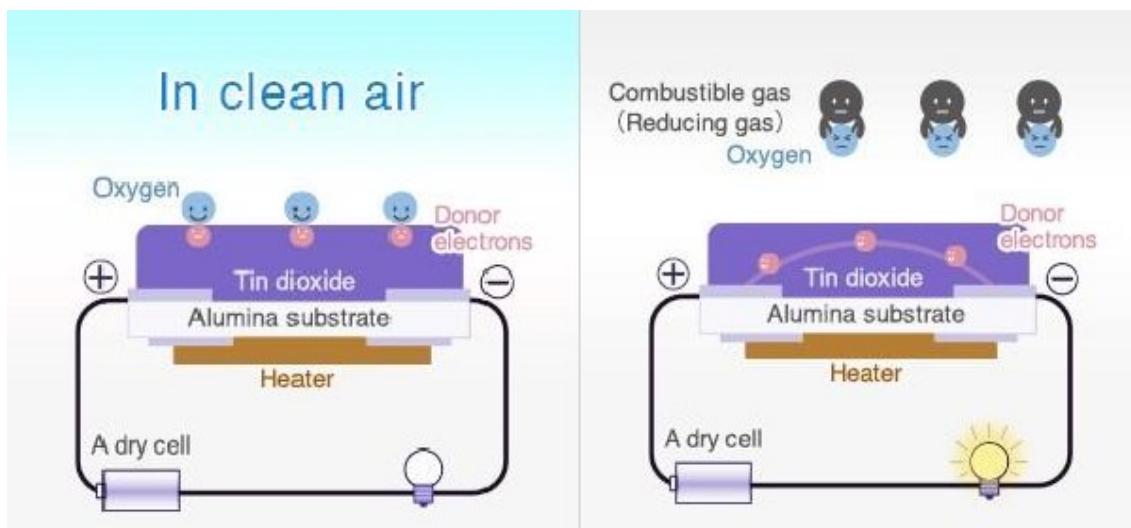


Gambar III.25. Diagram skematis penggunaan mikrofon kondenser

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 III.26. Prinsip kerja sensor gas MOS-type

B. Karakteristik

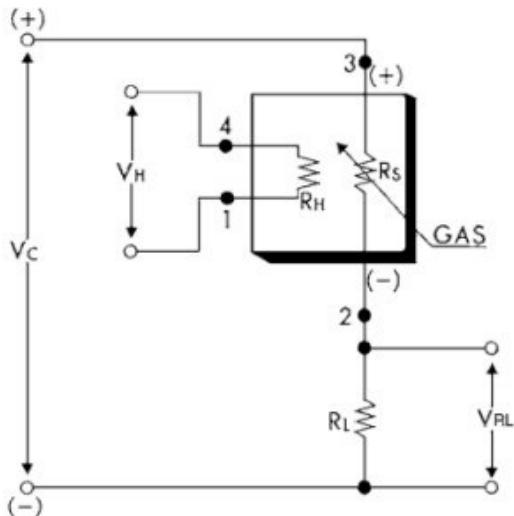


Gambar III.27. Sensor TGS822

Tabel III.7. Karakteristik sensor TGS822

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	± 0.1

C. Masukan dan Luaran



$$V_c = 5V$$

$$V_H = 5V$$

$$R_L = 10k\Omega, 1k\Omega$$

Gambar III.28. Rangkaian sensor TGS822

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 []. 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

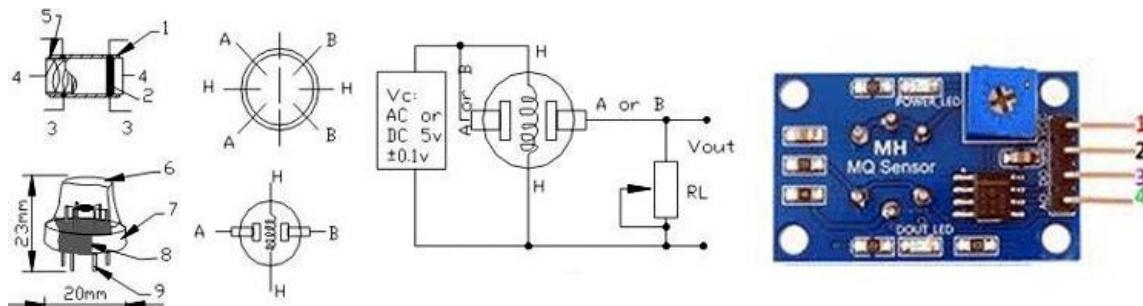


Gambar III.29. MQ6

Tabel III.8. Karakteristik MQ6

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

C. Masukan dan Luaran



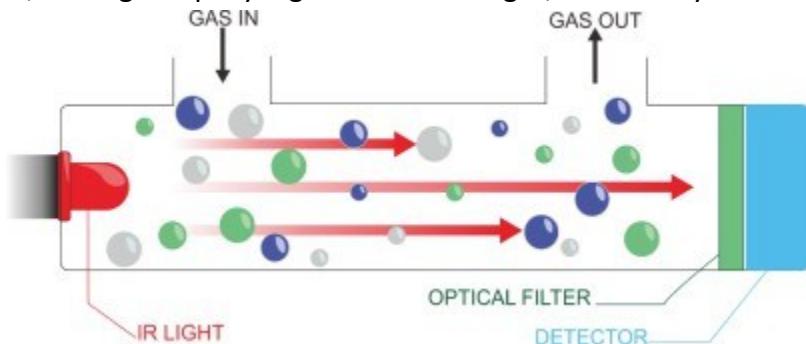
Gambar III.30. Rangkaian sensor MQ6

Gambar di atas menunjukkan rangkaian sensor MQ-6. Sensor tersebut dirangkai menjadi pembagi tegangan. Nilai keluaran yang dibaca adalah nilai tegangan pada tegangan pembebatan 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 III.31. Cara kerja NDIR

B. Karakteristik



Gambar III.32. MH-Z19

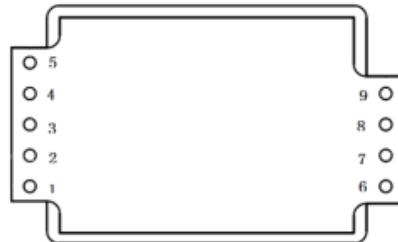
Tabel III.9. Karakteristik MH-Z19

<i>Product Model</i>	MH-Z19
<i>Target Gas</i>	CO ₂
<i>Working Voltage</i>	4,5–5,5 Vdc
<i>Current (average)</i>	< 60 mA (@5V)
<i>Current (peak)</i>	150 mA (@5V)

<i>Ranges</i>	0–2000 ppm 0–5000 ppm 0–10000 ppm
<i>Preheat Time</i>	3 minutes
<i>Response Time</i>	$T_{90} < 120$ s
<i>Output Signal</i>	PWM, UART (TTL <i>interface level</i> 3,3 V), DAC (<i>default</i> 0,4–2 V)
<i>Interface Level</i>	3,3 V (<i>Compatible with</i> 5 V)
<i>Working Temperature</i>	0–50°C
<i>Working Humidity</i>	0–90% RH (<i>No Condensation</i>)
<i>Life Span</i>	> 5 years
<i>Accuracy</i>	$\pm (50\text{ppm} + 3\% \text{ reading value})$

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 III.33. Konfigurasi pin 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.

i. 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.

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

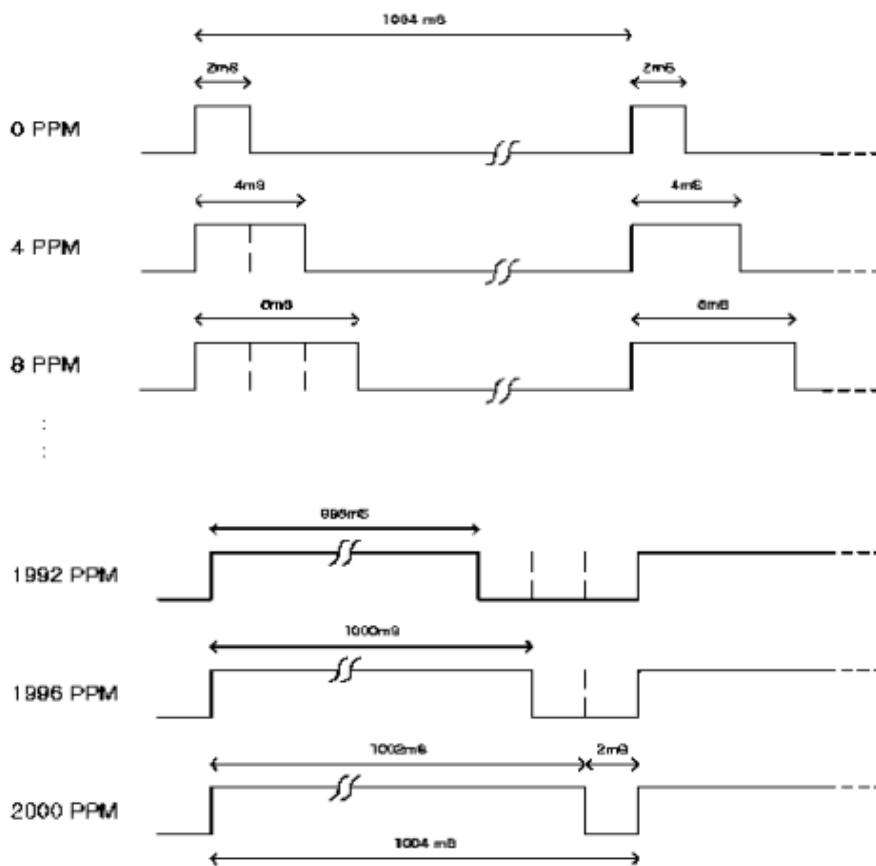
keterangan:

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* di awal dan *low level* di akhir konstan bernilai 2 ms ±5%. Kadar konsentrasi CO₂ berbanding lurus dengan lebar pulsa *high level*. Pada Gambar III.34 dijelaskan mengenai pulsa PWM [18].



Gambar III.34. Luaran PWM MH-Z19

ii. 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 III.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

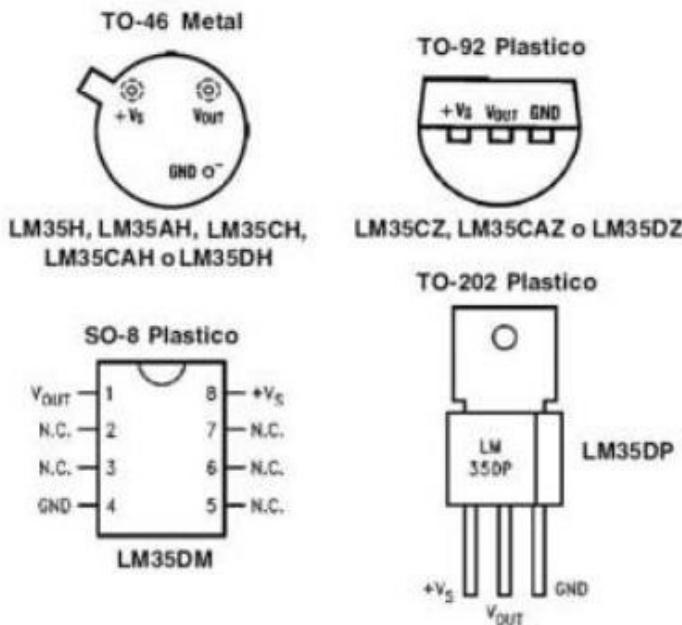
Return value								
Return								
Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
Starting byte	command	High level concentration	Low level concentration	-	-	-	-	Check value

Gambar III.35. Data luaran 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 linearitas 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 ke sensor 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 pengindraan 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 di sekitarnya, jika suhu udara di sekitarnya jauh lebih tinggi atau jauh lebih rendah dari suhu permukaan, maka LM35 berada pada suhu permukaan dan suhu udara di sekitarnya [19].



Gambar III.36. Tampak depan dan bawah LM35

Pada Gambar III.36, ditunjukkan bentuk dari LM35 tampak depan dan tampak bawah. 3 pin LM35 menunjukkan fungsi masing-masing pin di antaranya, 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 III.10. Karakteristik LM35

Akurasi	0.5 °C
Rentang Pengukuran	-55–150°C
Rentang Tegangan Masukan	4–30 V
Arus	60 uA
Error	0.1 °C
Linearitas	+ - 0.25 °C

C. Masukan dan Luaran

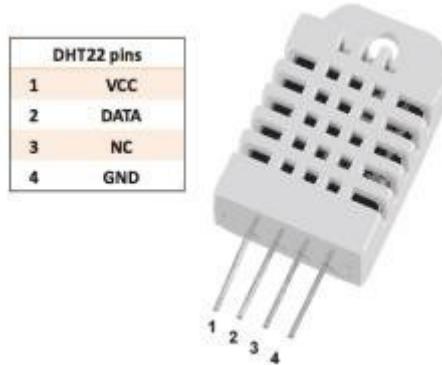
Masukan dari LM35 adalah suhu dari lingkungan yang kemudian akan diubah menjadi tegangan. Luaran dari LM35 adalah tegangan dan memiliki karakteristik tegangan yang mendekati linear dengan persamaan berikut.

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

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* $0,33\mu\text{F}$ antara pin#1 (VCC) dengan pin#4 (GND) [20]. Berikut penampakan dari sensor DHT22.



Gambar III.37. 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 III.11. Karakteristik DHT22

Akurasi	+2% dan +0.5 °C
Rentang pengukuran	0–99.9% dan -40–80 °C
Rentang tegangan masukan	3,3–5,5 V
Waktu respons	

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.

0000001010010010000000010000110110100010

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

$$T = 269 \cdot 0.1 = 26.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

10100010 -> hasil penjumlahan data

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

$$0 + 146 + 1 + 13 = 162$$

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 [21]

$$\frac{5}{2^{12} - 1} = 0.0012 \text{ V}$$

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 III.12. Karakteristik sensor DS18B20

Akurasi	+ -0.001 $\text{ }^{\circ}\text{C}$
Rentang Pengukuran	-50 $\text{ }^{\circ}\text{C}$ - 125 $\text{ }^{\circ}\text{C}$
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 responsnya yang cepat terhadap perubahan temperatur dan juga rentang temperatur operasionalnya yang luas yaitu berkisar di antara -200°C hingga 1250°C . Selain respons yang cepat dan rentang temperatur yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/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 III.38. Thermocouple Tipe K

19. MAX6675

A. Fenomena Fisis dan Cara Kerja

MAX6675 dibentuk dari kompensasi *cold junction* yang *output* didigitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. Data *output* memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI *microcontroller* secara umum. Data dapat dibaca dengan mengonversi 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 mengonversi *temperature ambient* yang terjadi ke bentuk tegangan menggunakan sensor *temperature diode*. Untuk dapat melakukan pengukuran aktual, 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 kompensasi *cold junction* yang *output*-nya digitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. Data *output* memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI *microcontroller* secara umum. Data dapat dibaca dengan mengonversi hasil pembacaan 12-bit data [22].

B. Masukan dan Luaran

MAX6675 memiliki 5 pin yang terdiri dari:

- *Vcc port* -> menggunakan tegangan +5V
- *SO port* -> *input* untuk *port* MISO pada IC ATMega yang berfungsi sebagai jalur data untuk komunikasi.
- *CS port* -> *input* untuk *port* SS pada IC ATMega yang berfungsi untuk mengunduh program atau data yang terbaca pada termokopel-K
- *CSK port* -> *input* untuk *port* SCK pada IC ATMega yang berfungsi sebagai *clock data*.
- *GND port* -> berfungsi sebagai saluran *ground*.



Gambar III.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 termokopel serta dilengkapi dengan rangkaian terpadu untuk mengolah data mentah dari kedua sensor tersebut. Rangkaian terpadu ini menghasilkan sensor yang memiliki kinerja andal 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 III.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 °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

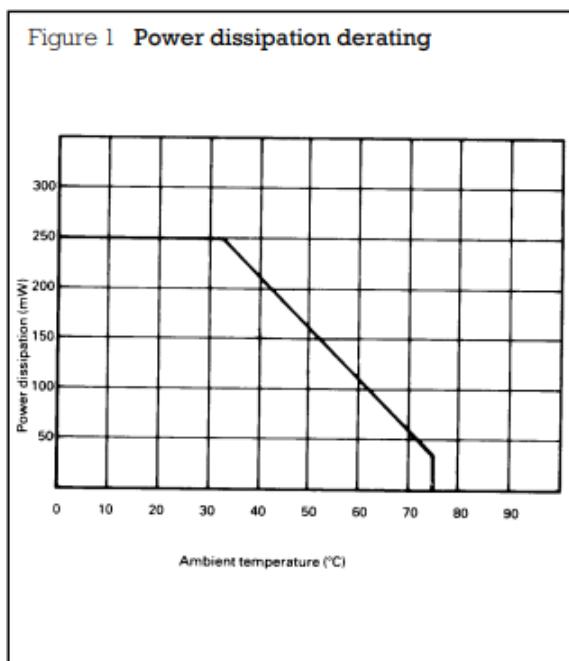
A. Fenomena Fisis

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

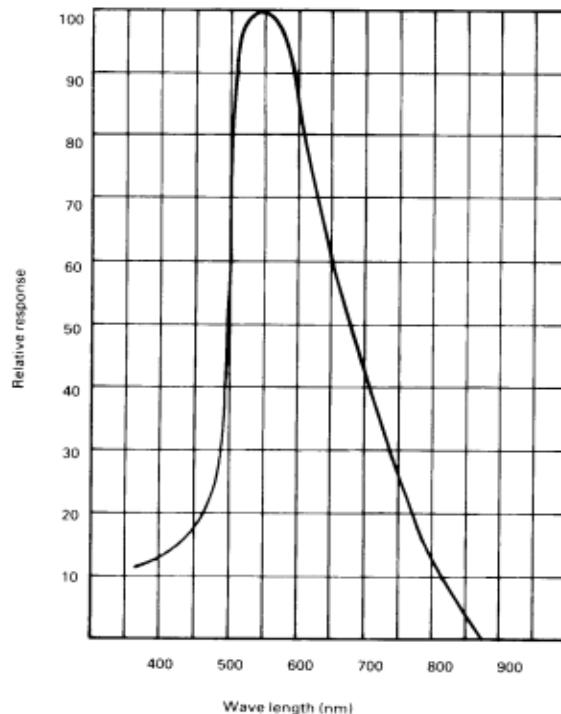
Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh LDR adalah 320 V AC/DC *peak* dengan arus maksimal sebesar 75 mA. Suhu kerja dari LDR berada pada rentang - 60 sampai dengan 75°C. Kurva disipasi energi dari LDR dapat dilihat pada Gambar III.40, sedangkan respons frekuensi dari LDR dapat dilihat pada Gambar III.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 III.42 [24].



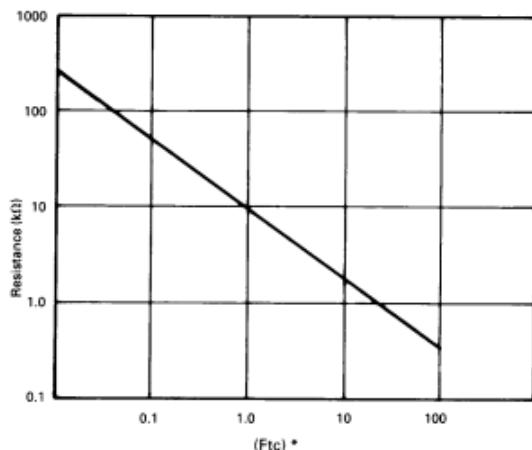
Gambar III.40. Kurva disipasi energi dari LDR

Figure 2 Spectral response



Gambar III.41. Respons frekuensi dari LDR

Figure 3 Resistance as a function of illumination



* $F_{tc} = 10.764$ lumens

Gambar III.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

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^\circ C$, 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

Gambar III.43. Karakteristik photodiode (BPV10NF Silicon PIN Photodiode)

C. Masukan dan Luaran

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

23. PIR

A. Fenomena Fisis

Elemen pengindraan PIR (*Passive Infra Red*) merupakan elemen pengindra 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 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.



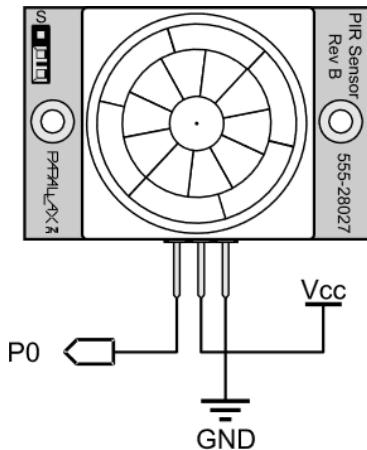
Gambar III.44. Sensor PIR

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 III.45. 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. 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

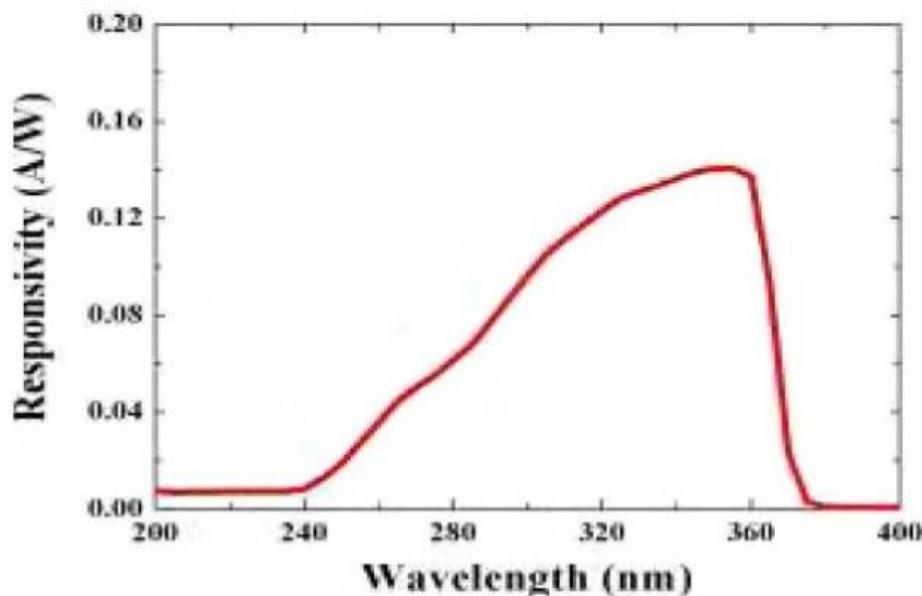
A. Fenomena Fisis

Modul sensor UV (UVM) merupakan modul sensor yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya ultraviolet. Komponen utama dari UVM adalah fotodiода yang tersusun dari material semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya pada rentang frekuensi ultraviolet. Ketika cahaya ultraviolet mengenai komponen fotodioda, 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 fotodioda 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 III.46 [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 III.46. 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 III.47 [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 III.47. Indeks UV berdasarkan tegangan keluaran modul sensor UV

26. PZEM-017

A. Fenomena Fisis

Modul sensor PZEM-017 merupakan modul sensor yang digunakan untuk tegangan, arus,

daya, dan energi listrik DC [28]. Untuk mengukur arus, modul ini memanfaatkan *shunt resistor* yang beroperasi berdasarkan hukum Ohm, yaitu sebagai berikut.

$$V = I \cdot R$$

Resistor yang digunakan dirancang untuk memiliki resistansi yang rendah supaya tegangan turun melalui resistor tersebut tidak signifikan dibandingkan tegangan turun pada beban. Sebagai contoh, pengukuran arus DC dalam rentang di bawah 50 A dapat dilakukan dengan *shunt resistor* 50 A/75 mV. Dengan karakteristik tersebut, *shunt resistor* memiliki *rating* arus maksimal melalui sebesar 50 A dan tegangan padanya bernilai 75 mV ketika arus maksimal.

Kalkulasi daya dilakukan berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus dengan persamaan berikut.

$$P = V \cdot I$$

Adapun kalkulasi konsumsi energi dilakukan dengan mengambil integral daya terhadap waktu, yaitu sebagai berikut.

$$E = \int_{t_0}^t P d\tau$$

Pada modul PZEM-017, perhitungan energi dapat di-reset menggunakan perintah dengan kode fungsi 0x42 (*reset energy*). Dengan kata lain, secara matematis, nilai t_0 pada perhitungan energi dapat diubah sehingga nilainya tidak akan melewati rentang pengukuran modul sensor.

B. Karakteristik

Dalam *datasheet* modul sensor PZEM-017, dicantumkan beberapa karakteristik meliputi rentang pengukuran, resolusi, dan akurasi pengukuran untuk tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi.

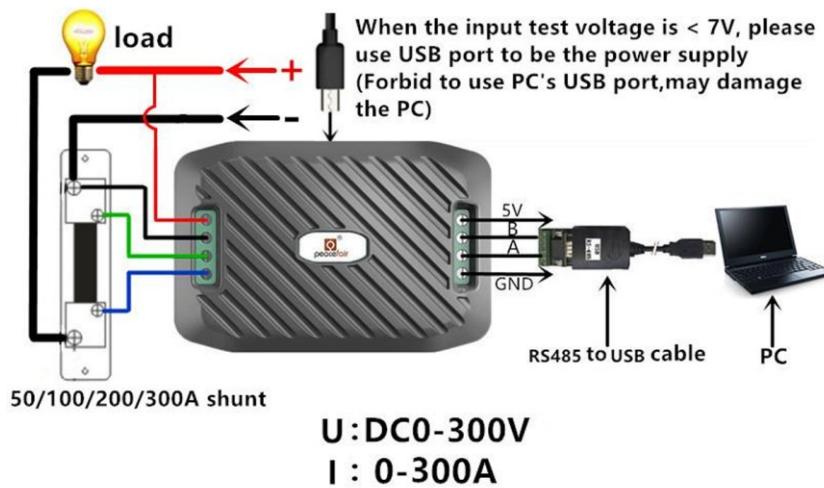
Tabel III.14. Karakteristik pengukuran modul sensor PZEM-017 [28]

Parameter	Rentang Pengukuran	Resolusi	Akurasi Pengukuran	Keterangan
Tegangan	0,05–300 V	0,01 V	1%	Jika tegangan yang diukur kurang dari 7 V, modul sensor perlu diberikan daya secara independen. Lebih lanjut pada bagian selanjutnya.
Arus	0,02–300 A	0,01 A	1%	Batas maksimal pengukuran arus bergantung pada <i>shunt resistor</i> yang digunakan. Lebih lanjut pada bagian selanjutnya.
Daya	0,2–90 kW	0,1 W	1%	
Konsumsi energi	0–9999 kWh	1 Wh	1%	Reset pengukuran energi dilakukan melalui perintah kode fungsi 0x42.

Terdapat kondisi pengukuran yang perlu diperhatikan dalam penggunaan PZEM-017, yaitu tegangan daya dan temperatur lingkungan [28]. Sebagaimana telah disebutkan dalam Tabel III.14, modul sensor PZEM-017 perlu diberikan daya secara independen tegangan 5 V dan arus >100 mA jika tegangan diukur kurang dari 7 V. Namun, tegangan tersebut tidak boleh diambil dari port USB komputer karena berpotensi merusak komputer tersebut. Selain itu, temperatur lingkungan operasi PZEM-017 juga diatur dalam rentang -20–60 °C.

C. Masukan dan Luaran

Antarmuka modul sensor PZEM-017 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar III.48. Diagram perkabelan modul sensor PZEM-017 [28]

Terdapat dua antarmuka pada modul sensor PZEM-017, yaitu antarmuka dengan beban listrik (sebelah kiri) dan antarmuka dengan sistem digital melalui protokol Modbus RTU di atas RS-485 (sebelah kanan).

Untuk membaca hasil pengukuran, terdapat beberapa *register* yang dapat diakses dengan perintah kode fungsi 0x04 (*Read Input Registers*). Alamat-alamat register tersebut ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel III.15. Alamat *register* untuk membaca hasil pengukuran PZEM-017 [28]

Alamat Register	Deskripsi	Keterangan
0x0000	Nilai tegangan	1 LSB bernilai 0,01 V
0x0001	Nilai arus	1 LSB bernilai 0,01 A
0x0002	Nilai daya (16 bit terkecil)	1 LSB bernilai 0,1 W
0x0003	Nilai daya (16 bit terbesar)	
0x0004	Nilai energi (16 bit terkecil)	1 LSB bernilai 1 Wh
0x0005	Nilai energi (16 bit terbesar)	
0x0006	Status alarm tegangan tinggi	Alarm bernilai 0xFFFF
0x0007	Status alarm tegangan rendah	Alarm bernilai 0xFFFF

Selain itu, terdapat konfigurasi modul sensor yang dapat dibaca dengan perintah kode fungsi 0x03 (*Read Holding Registers*) dan diatur dengan perintah kode fungsi 0x06 (*Write Single Register*). Konfigurasi-konfigurasi tersebut berada dalam *register-register* pada tabel berikut.

Tabel III.16. Alamat *register* untuk konfigurasi PZEM-017 [28]

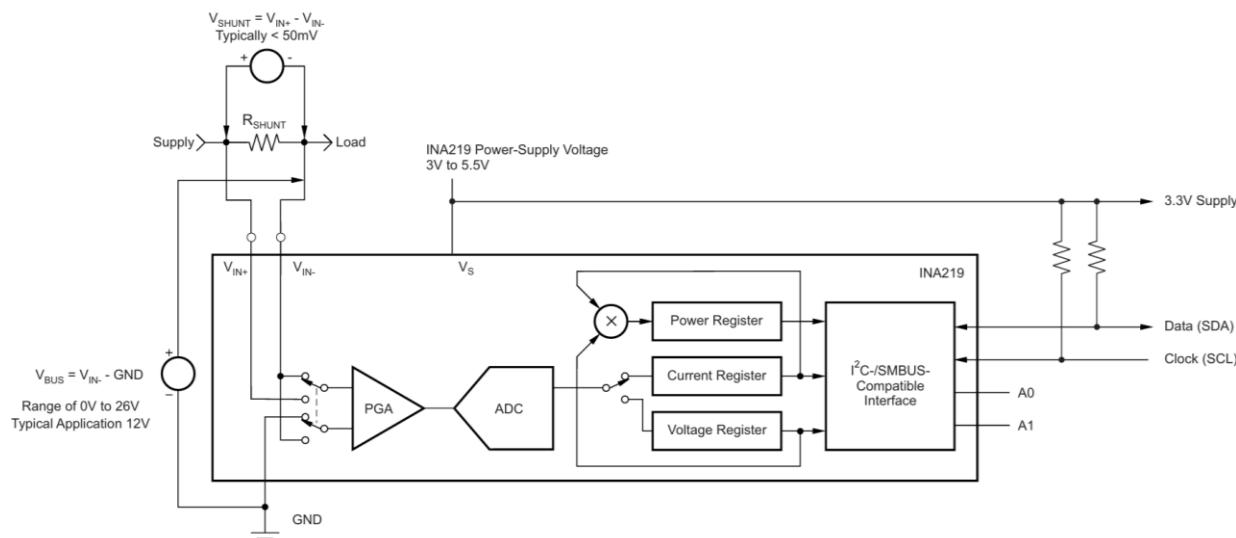
Alamat Register	Deskripsi	Keterangan
0x0000	Batas alarm tinggi, <i>default</i> bernilai 300 V	1 LSB bernilai 0,01 V
0x0001	Batas alarm rendah, <i>default</i> bernilai 7 V	1 LSB bernilai 0,01 V
0x0002	Alamat <i>slave</i> Modbus RTU	Alamat slave dalam rentang 0x0001–0x00F7
0x0003	Batas atas pengukuran arus	0x0000 untuk batas 100 A 0x0001 untuk batas 50 A 0x0002 untuk batas 200 A 0x0003 untuk batas 300 A

27. INA219

A. Fenomena Fisis

Sensor INA219 merupakan sensor yang mengukur arus, tegangan, dan daya listrik DC [29]. Pengukuran arus pada INA219 dilakukan menggunakan *shunt resistor*. Nilai *shunt resistor* pada *breakout board* INA219 umumnya bernilai $0,1\ \Omega$ [30]. INA219 mendapatkan nilai arus DC yang melewatkinya dengan mengukur tegangan *shunt resistor*. Tegangan tersebut diperkuat oleh *programmable gain amplifier* (PGA) dan dikonversi menjadi bentuk digital oleh ADC. Tegangan rangkaian selanjutnya juga diukur dengan konfigurasi *high-side sensing*, yaitu pengukuran diferensial antara sisi negatif *shunt resistor* dengan *ground* rangkaian. Adapun daya listrik DC diukur dengan mengalikan hasil pengukuran arus dan hasil pengukuran tegangan.

Skema sederhana pengukuran listrik oleh INA219 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar III.49. Skema pengukuran INA219 [29]

B. Karakteristik

Dalam *datasheet* INA219, dicantumkan beberapa karakteristik INA219B. Karakteristik yang tidak dicantumkan pada tabel berikut dapat dilihat pada *datasheet* [29].

Tabel III.17. Karakteristik INA219B [29]

Parameter		Kondisi	Nilai	
V_S	Tegangan suplai sensor		3–5,5 V	
IN_+, IN_-	Diferensial ($V_{IN+} - V_{IN-}$)		-26–26 V	
	V_{IN+}, V_{IN-}		-0,3–26 V	
CMRR	<i>Common-mode rejection ratio</i>		> 100 dB	
T	Temperatur operasi		-40–125 °C	
V_{shunt}	Rentang tegangan <i>shunt</i> untuk pengukuran arus	PGA = /1	-40–40 mV	
		PGA = /2	-80–80 mV	
		PGA = /4	-160–160 mV	
		PGA = /8	-320–320 mV	
V_{bus}	Rentang pengukuran tegangan rangkaian	BRNG = 1	0–32 V	
		BRNG = 2	0–16 V	
Akurasi pengukuran arus			±0,3%	
Akurasi pengukuran tegangan			±0,5%	
Resolusi ADC			9–12 bit	

Terdapat beberapa informasi pelengkap tabel di atas yang perlu diperhatikan, yaitu informasi terkait tegangan, konfigurasi, dan efek temperatur. Tegangan *input* (IN_+ dan IN_-) harus berada dalam rentang -0,3–26 V. Beberapa karakteristik dalam tabel bergantung pada konfigurasi pengukuran seperti PGA dan BRNG. Terakhir, beberapa karakteristik mungkin berbeda pada kondisi temperatur lingkungan yang berbeda, misalnya akurasi.

C. Masukan dan Luaran

Antarmuka sensor INA219 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar III.50. INA219 [30]

Terdapat dua antarmuka pada sensor INA219, yaitu antarmuka dengan beban listrik dan antarmuka dengan sistem digital melalui protokol I2C.

Pada konfigurasi *high-side sensing*, V_{IN+} terhubung dengan sumber daya, V_{IN-} terhubung dengan beban, dan GND terhubung dengan *ground* yang sama dengan beban. Adapun pada konfigurasi *low-side sensing*, V_{IN+} terhubung pada *ground* beban dan V_{IN-} serta GND terhubung pada *ground* rangkaian keseluruhan. Perlu diperhatikan bahwa pengukuran tegangan dan daya tidak dapat dilakukan pada konfigurasi *low-side sensing*. Pin VCC terhubung dengan tegangan 3,3 V.

Terdapat beberapa pertimbangan dalam hubungan pada *input* sebagai rangkaian proteksi terhadap tegangan *flyback* dan beban induktif [30]. Diode *snubber* dapat digunakan sebagai proteksi terhadap tegangan *flyback* ketika mengganti beban induktif atau hubungan *short*. Selain itu, kapasitor juga digunakan sebagai komponen *decouple* dari suplai daya pada penggunaan beban induktif seperti motor DC supaya tidak terjadi galat pada konfigurasi INA219.

Konfigurasi I2C pada INA219 terbagi menjadi konfigurasi fisik dan konfigurasi digital. Konfigurasi fisik mengatur alamat INA219 sebagai *slave* I2C yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel III.18. Alamat *slave* I2C INA219 [30]

A1	A0	Alamat
0	0	0x40
0	1	0x41
1	0	0x44
1	1	0x45

Untuk mengakses konfigurasi dan hasil pengukuran sensor, terdapat beberapa *register* yang diminta oleh *master*. *Register-register* tersebut dicantumkan pada tabel berikut.

Tabel III.19. Alamat register pada INA219 [29]

Alamat Register	Nama	Tipe
0x00	Konfigurasi	R/W
0x01	Tegangan <i>shunt</i>	R
0x02	Tegangan <i>bus</i>	R
0x03	Daya	R
0x04	Arus	R
0x05	Kalibrasi	R/W

Pada *register* konfigurasi, terdapat setelan untuk rentang pengukuran tegangan (BRNG), rentang pengukuran tegangan *shunt* (PGA), resolusi ADC untuk arus dan tegangan, serta mode pengukuran (*shunt* saja, *bus* saja, atau keduanya; secara kontinu atau sekali). Detail konfigurasi dapat dilihat pada *datasheet* [29].

28. PZEM-004T

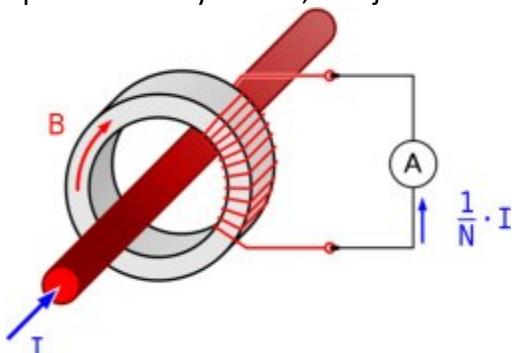
A. Fenomena Fisis

Modul sensor PZEM-004T merupakan modul sensor yang digunakan untuk tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, frekuensi, dan energi aktif listrik AC [31]. Untuk mengukur arus pada

rentang 0–100 A, modul ini memanfaatkan *current transformer* (CT). CT adalah instrumen yang memproduksi arus sekunder proporsional nilainya terhadap arus primer dengan hampir tidak ada beda fase antara keduanya secara ideal [32]. Sebuah CT terdiri atas *winding* primer, *core*, dan *winding* sekunder. Arus bolak-balik pada *winding* primer membangkitkan medan magnet bolak-balik pada *core* yang kemudian menginduksi arus bolak-balik pada *winding* sekunder. CT hanya bekerja pada arus listrik nonkonstan seperti pada listrik AC berdasarkan hukum induksi Faraday. Besar arus sekunder terhadap arus primer bergantung pada jumlah lilitan *winding* primer dan lilitan *winding* sekunder pada *core*. Hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

Berikut adalah gambar yang menunjukkan operasi CT dengan I sebagai arus primer, B sebagai medan magnet, jumlah lilitan primer sebanyak satu, dan jumlah lilitan sekunder sebesar N.



Gambar III.51. Prinsip kerja CT induktif [32]

Daya aktif dihitung sebagai rerata perkalian tegangan dan arus pada sebuah periode T yang ditunjukkan pada persamaan berikut [33].

$$P_R = \frac{1}{T} \int_0^T V \cdot I dt$$

Adapun faktor daya dihitung dengan persamaan berikut [33].

$$PF = \frac{P_R}{P_A} = \frac{P_R}{V_{RMS} \cdot I_{RMS}} = \cos \phi$$

Ditunjukkan pada persamaan tersebut bahwa daya aktif juga dipengaruhi oleh beda fase antara tegangan dan arus yang ditunjukkan oleh ϕ . Kalkulasi konsumsi energi dilakukan dengan mengambil integral daya aktif terhadap waktu, yaitu sebagai berikut.

$$E_R = \int_{t_0}^t P_R d\tau$$

Pada modul PZEM-004T, perhitungan energi dapat di-reset menggunakan perintah dengan kode fungsi 0x42 (*reset energy*). Dengan kata lain, secara matematis, nilai t_0 pada perhitungan energi dapat diubah sehingga nilainya tidak akan melewati rentang pengukuran modul sensor.

B. Karakteristik

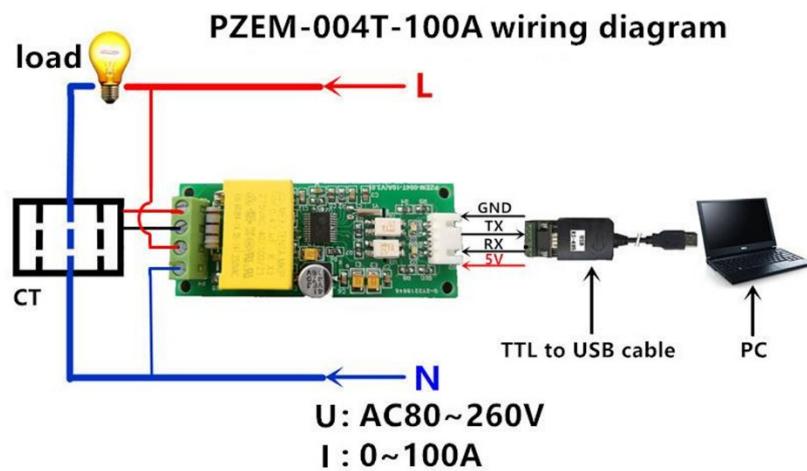
Dalam *datasheet* modul sensor PZEM-004T, dicantumkan beberapa karakteristik meliputi rentang pengukuran, resolusi, dan akurasi pengukuran untuk tegangan, arus, daya aktif, faktor daya dan konsumsi energi aktif.

Tabel III.20. Karakteristik pengukuran modul sensor PZEM-004T-100A [31]

Parameter	Rentang Pengukuran	Resolusi	Akurasi Pengukuran	Keterangan
Tegangan	80–260 V	0,1 V	0,5%	
Arus	0–100 A (diukur mulai 0,02 A)	0,001 A	0,5%	Rentang pengukuran pada PZEM-004T terbatas hingga 10 A jika menggunakan <i>shunt</i> internal dan 100 A jika menggunakan CT.
Daya aktif	0–23 kW (diukur mulai 0,4 W)	0,1 W	0,5%	Rentang pengukuran pada PZEM-004T terbatas hingga 2,3 kW jika menggunakan <i>shunt</i> internal dan 23 kW jika menggunakan CT.
Faktor daya	0,00–1,00	0,01	1%	
Frekuensi	45–65 Hz	0,1 Hz	0,5%	
Konsumsi energi aktif	0–9999,99 kWh	1 Wh	0,5%	Reset pengukuran energi dilakukan melalui perintah kode fungsi 0x42.

C. Masukan dan Luaran

Antarmuka modul sensor PZEM-017 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar III.52. Diagram perkabelan modul sensor PZEM-004T-100A [31]

Terdapat dua antarmuka pada modul sensor PZEM-004T, yaitu antarmuka dengan beban listrik (sebelah kiri) dan antarmuka dengan sistem digital melalui TTL dengan protokol Modbus RTU (sebelah kanan).

Untuk membaca hasil pengukuran, terdapat beberapa *register* yang dapat diakses dengan perintah kode fungsi 0x04 (*Read Input Registers*). Alamat-alamat register tersebut ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel III.21. Alamat *register* untuk membaca hasil pengukuran PZEM-004T [31]

Alamat Register	Deskripsi	Keterangan
0x0000	Nilai tegangan	1 LSB bernilai 0,01 V
0x0001	Nilai arus (16 bit terkecil)	
0x0002	Nilai arus (16 bit terbesar)	1 LSB bernilai 0,001 A
0x0003	Nilai daya (16 bit terkecil)	
0x0004	Nilai daya (16 bit terbesar)	1 LSB bernilai 0,1 W
0x0005	Nilai energi (16 bit terkecil)	
0x0006	Nilai energi (16 bit terbesar)	1 LSB bernilai 1 Wh
0x0007	Nilai frekuensi	1 LSB bernilai 0,1 Hz
0x0008	Nilai faktor daya	1 LSB bernilai 0,01
0x0009	Status alarm daya berlebih	Alarm bernilai 0xFFFF

Selain itu, terdapat konfigurasi modul sensor yang dapat dibaca dengan perintah kode fungsi 0x03 (*Read Holding Registers*) dan diatur dengan perintah kode fungsi 0x06 (*Write Single Register*). Konfigurasi-konfigurasi tersebut berada dalam *register-register* pada tabel berikut.

Tabel III.22. Alamat *register* untuk konfigurasi PZEM-017 [31]

Alamat Register	Deskripsi	Keterangan
0x0001	Batas alarm daya berlebih	1 LSB bernilai 0,01 V
0x0002	Alamat slave Modbus RTU	Alamat slave dalam rentang 0x0001–0x00F7

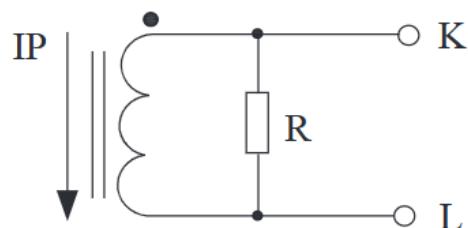
29. SCT-013

A. Fenomena Fisis

SCT (*split-core current transformer*) merupakan sensor yang dapat digunakan untuk mengukur arus AC. Sensor ini bekerja dengan menggunakan *current transformer* seperti pada PZEM-004T. Arus AC primer mengalir melalui *core* sehingga menghasilkan medan magnet bolak-balik. Pada *core* terdapat *winding* (lilitan) sekunder yang berfungsi untuk mendeteksi medan magnet dan menghasilkan arus sekunder. Kemudian arus sekunder dihubungkan ke beban sehingga didapat tegangan keluaran.



Gambar III.53. SCT-013



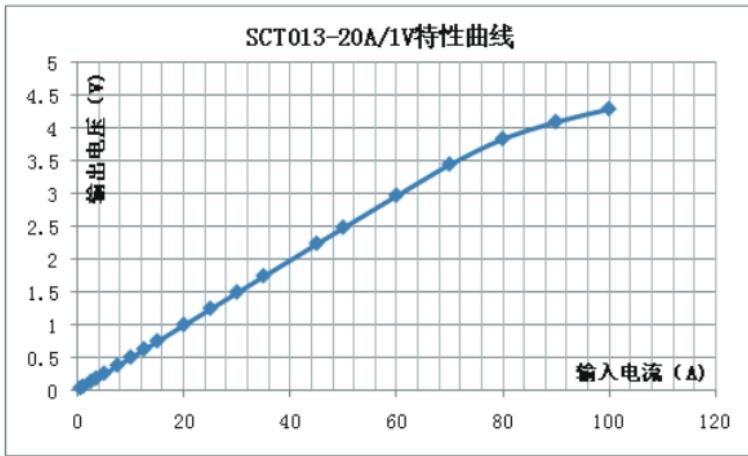
Gambar III.54. Skema rangkaian SCT-013

B. Karakteristik

Pada *datasheet* SCT-013 20A memiliki karakteristik berikut.

Tabel III.23. Karakteristik SCT-013 20A

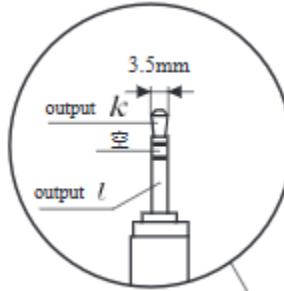
Parameter	Nilai
Rated input	10 A
Max input	50 A
Rated output	1 V
Accuracy	1%
Operation temperature	-25°C – +70°C



Gambar III.55. Grafik masukan-keluaran SCT-013 20A

C. Masukan dan Luaran

Pada *input*, kabel yang hendak diukur arusnya cukup dimasukkan pada *coil* SCT-013 tanpa perlu memotongnya. *Output* SCT-013 berupa *audio jack* 3.5 standar sehingga dapat dihubungkan langsung ke perangkat yang dapat membaca datanya. Tegangan keluaran juga dapat dibaca dengan menghubungkan bagian K dan L *audio jack* ke *microcontroller*.

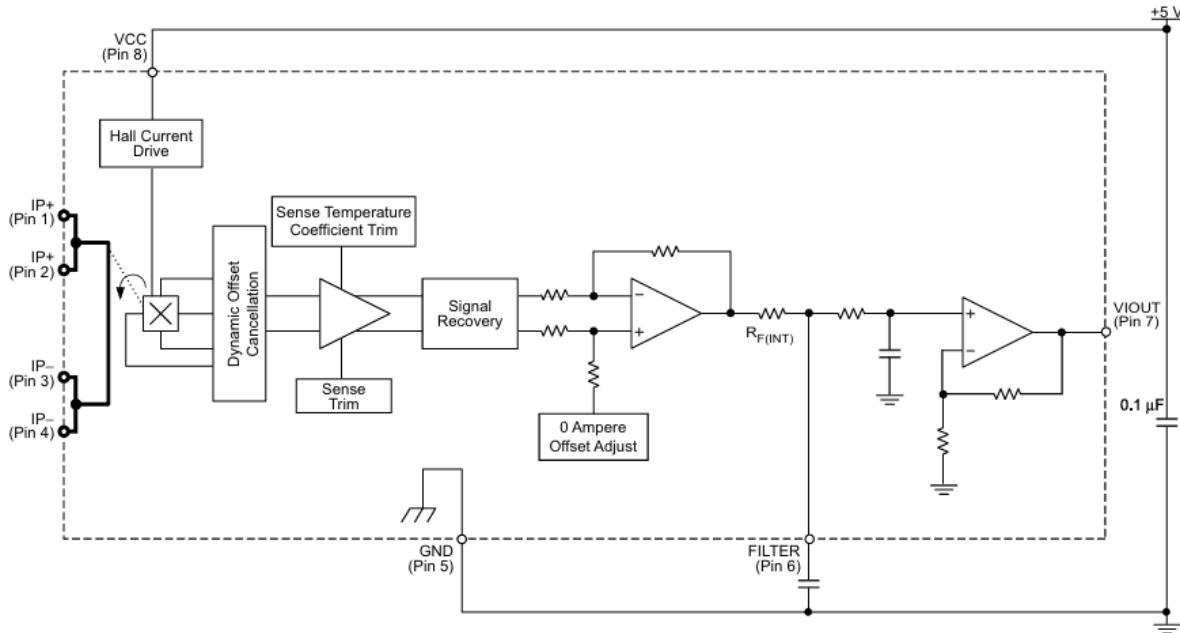


Gambar III.56. Output audio jack SCT-013

30. ACS712

A. Fenomena Fisis

ACS712 merupakan modul sensor yang dapat digunakan untuk mengukur arus DC maupun AC. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan efek Hall. Pada IC sensor terdapat konduktor tembaga. Arus yang melalui konduktor tembaga akan dikenai medan magnet sehingga menghasilkan beda potensial pada kedua tepinya. Tegangan tersebut menjadi keluaran sensor yang proporsional dengan arus masukannya.



Gambar III.57. Rangkaian IC ACS712

B. Karakteristik

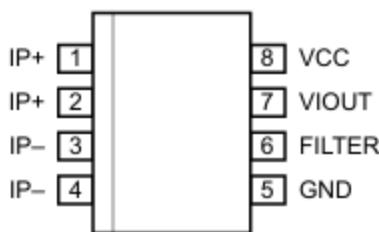
Pada *datasheet* ACS712 20A memiliki karakteristik berikut.

Tabel III.24. Karakteristik ACS712 20A

Parameter	Nilai
Tegangan masukan	5 V
Arus masukan	10 mA
Temperatur operasi	-40°C – +85°C
Rentang pengukuran	-20 – 20 A
Sensitivitas	100 mV/A

C. Masukan dan Luaran

IC ACS712 memiliki konfigurasi pin sebagai berikut.

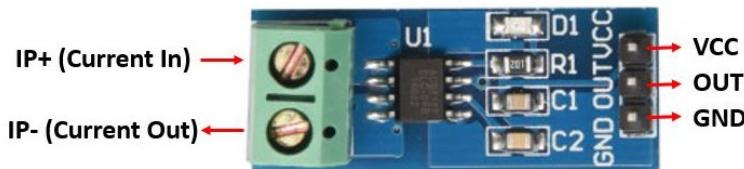


Gambar III.58. IC ACS712

- Pin 1 dan 2 → masukan arus positif
- Pin 3 dan 4 → masukan arus negatif

- Pin 5 -> ground
- Pin 6 -> filter kapasitor untuk mengatur *bandwith*
- Pin 7 -> tegangan keluaran
- Pin 8 -> tegangan masukan 5V

Pada modul sensor, filter kapasitor telah terintegrasi. Masukan arus dipasang ke terminal sensor secara seri pada rangkaian.



Gambar III.59. Modul sensor ACS712

31. Motor DC

A. Fenomena Fisis



Gambar III.60. 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 melaluiinya 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

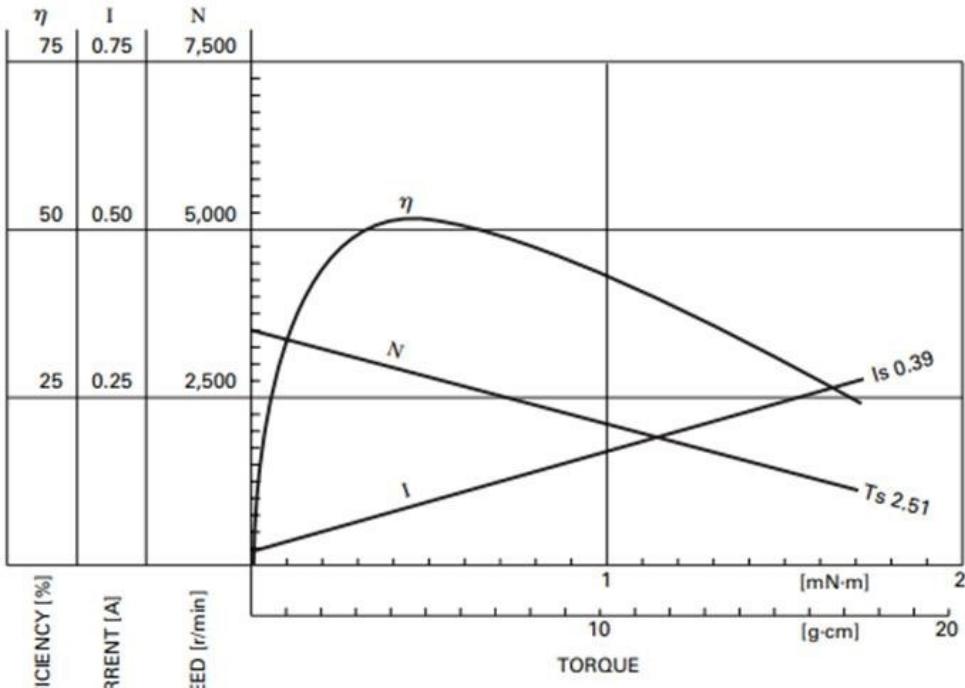
Berikut karakteristik atau *datasheet* dari motor DC RF – 300FA [34].

Tabel III.25. 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

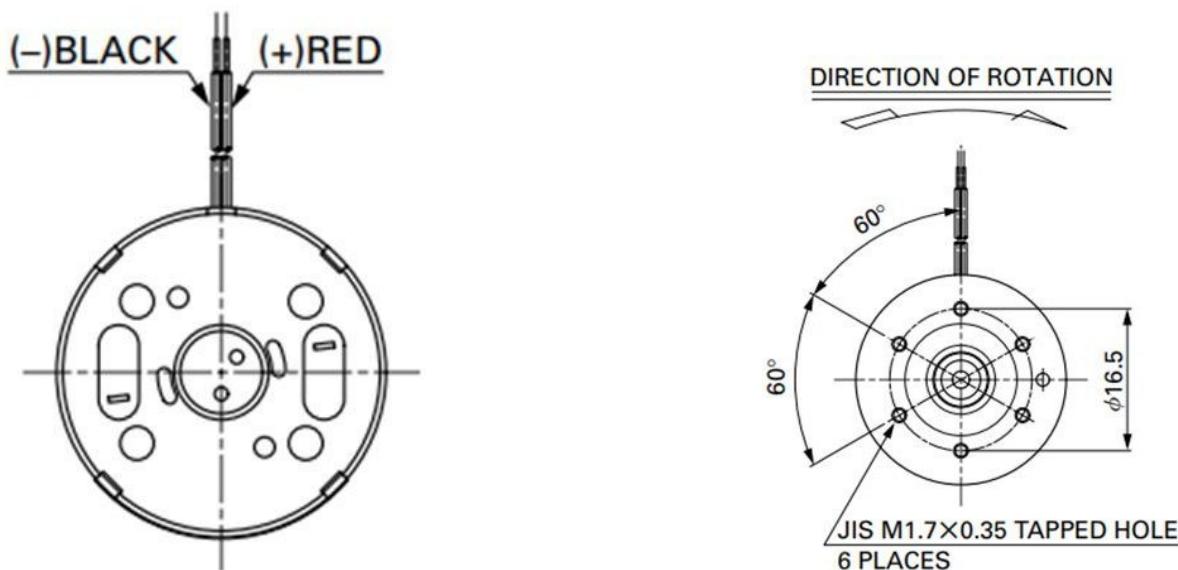
RF-300FA-12350

3.0V

**Gambar III.61.** Kurva torsi motor DC RF-300FA

C. Masukan dan Luaran

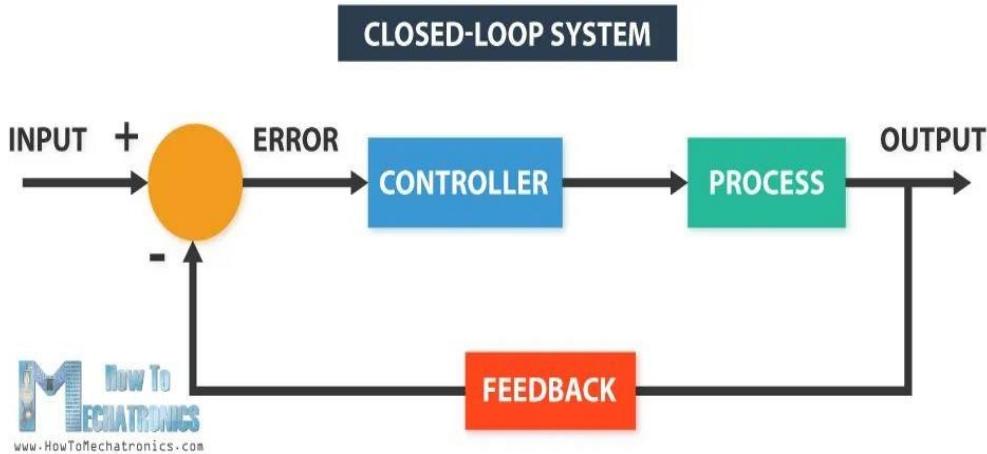
Motor DC RF – 300FA – 12350 memiliki *input* berupa energi listrik melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan pengendalian analog dan digital. *Output* dari motor DC adalah rotasi mekanis.

**Gambar III.62.** Gambar teknik dari motor DC RF-300FA

32. Motor Servo

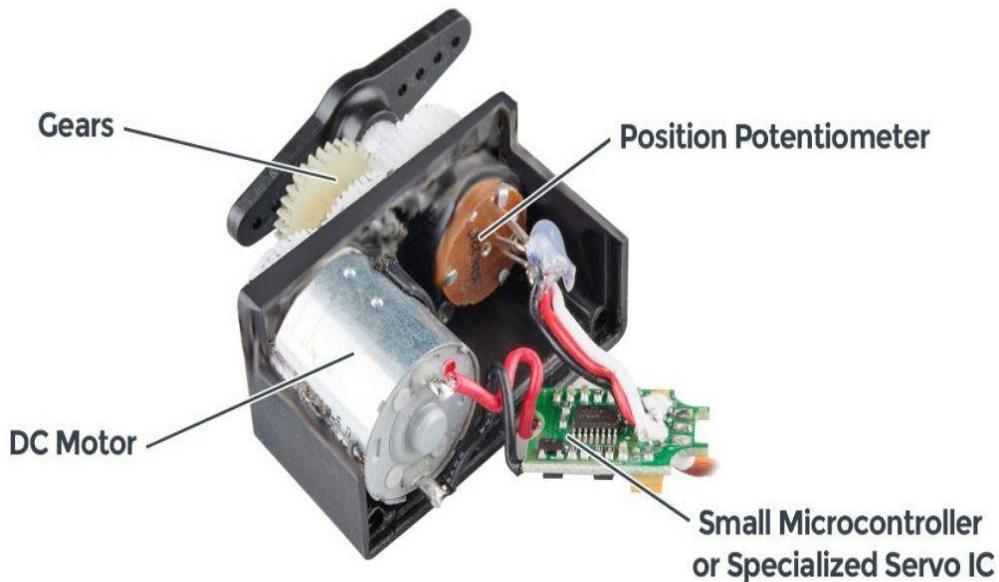
A. Fenomena Fisis

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



Gambar III.63. Diagram kalang tertutup

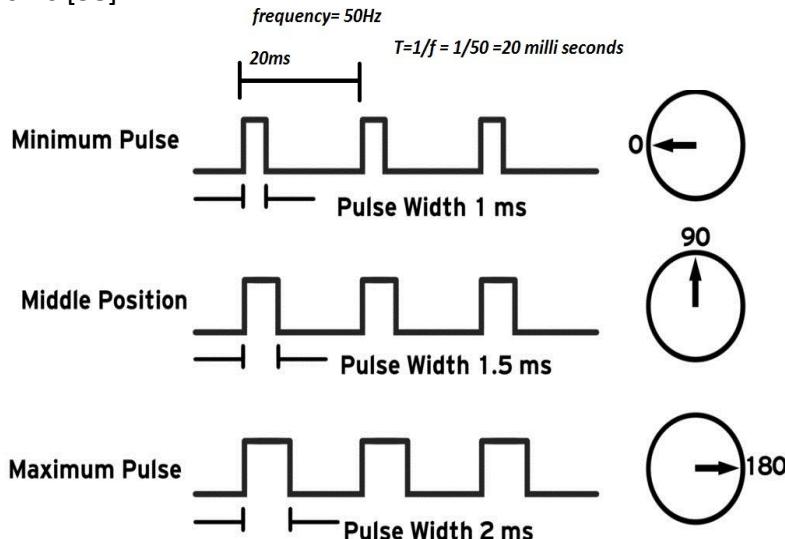
Motor servo yang digunakan di industri menggunakan encoder berpresisi tinggi sebagai sensor umpan balik posisi, sementara *radio control* atau servo yang digunakan untuk hobi sensor posisi yang digunakan biasanya adalah potensiometer sederhana [35]. Masukan motor servo dapat berupa sinyal analog ataupun 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 [36]. Komponen potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum putaran sumbu motor servo [37].



Gambar III.64. 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 divider*), 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 [38].



Gambar III.65. Fungsi PWM pada motor servo

Gambar III.65 menunjukkan fungsi dari sinyal PWM pada motor servo. Apabila lebar pulsanya adalah 1ms, motor akan tetap 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 di bawah ini.

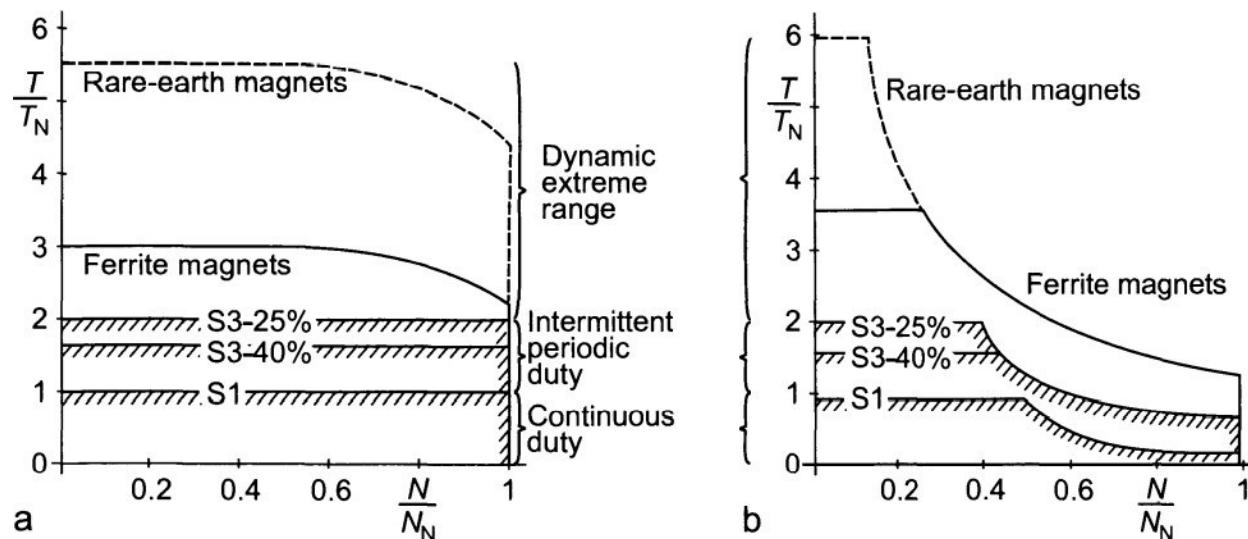
Tabel III.26. Perbandingan pengendali servo yang menggunakan hidraulik dan elektrik

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 [4].

Tabel III.27. 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.



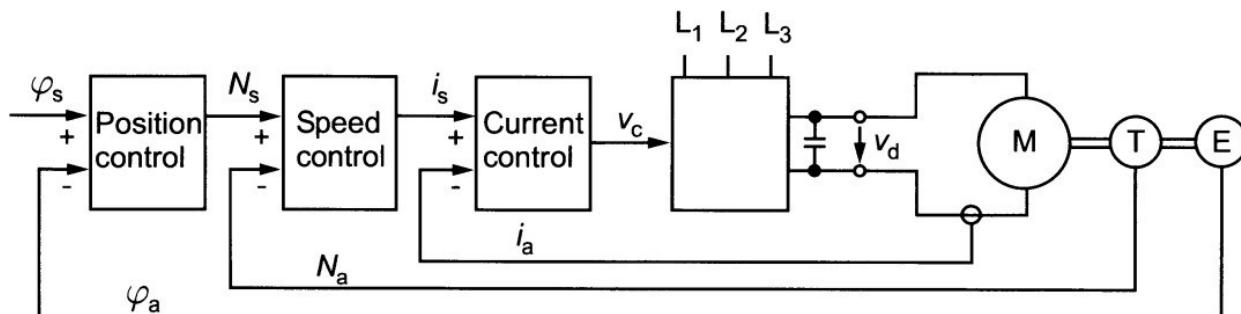
Gambar III.66. Rentang peforma motor servo: a. motor BLDC, b. motor AC; 25%, 40%: siklus faktor durasi

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 [4].

Tabel III.28. 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 III.67. Blok diagram rangkaian kendali untuk motor servo

Gambar III.67 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 [4].

B. Karakteristik

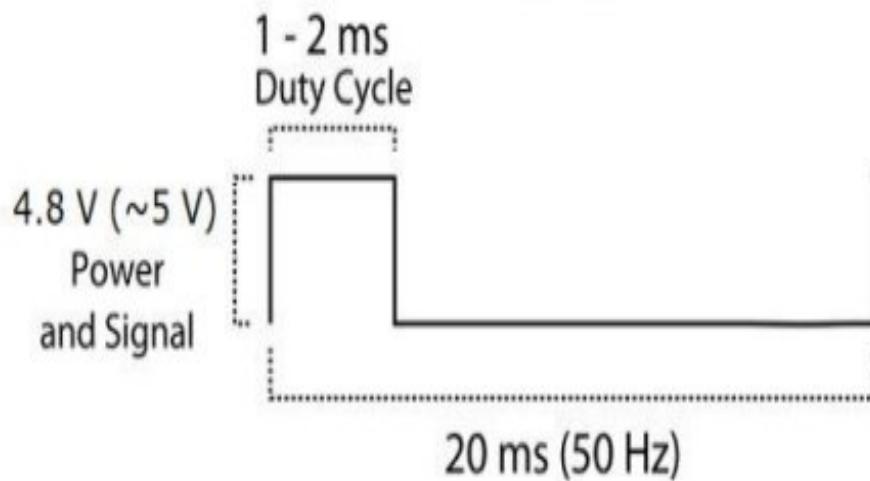
Motor servo yang digunakan dalam praktikum ini adalah tipe SG90 9g. Karakteristiknya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel III.29. 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 μ s
Temperature range	0°C to 55°C



Gambar III.68. Wiring diagram motor servo tipe SG90 9g dan tipe MGS90s



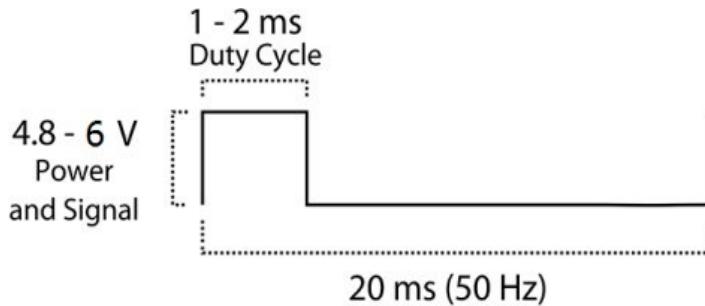
Gambar III.69. Duty cycle terhadap periode PWM

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 III.30. Karakteristik motor servo tipe MGS90s

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 μ s



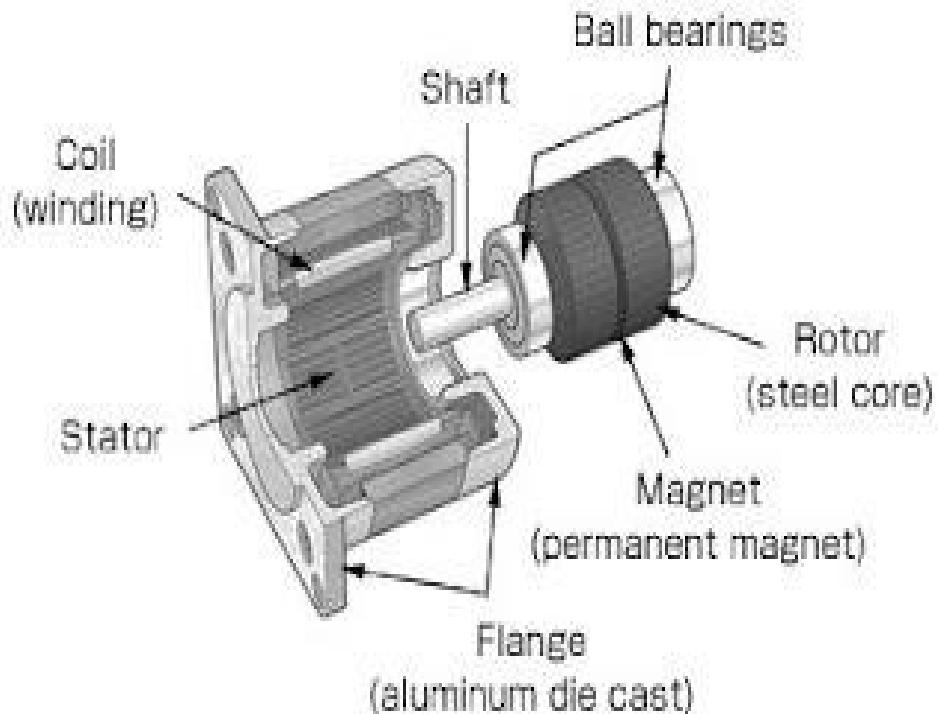
Gambar III.70. Duty cycle terhadap periode PWM

33. Motor Stepper

A. Fenomena Fisis

Motor stepper adalah sebuah aktuator yang mengubah 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 konstruksi 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 [39]. Rotor terbuat dari magnet permanen atau variabel reluktansi bijih besi berupa besi lunak [40]. Rotor akan merespons medan magnet pada belitan stator dan bergerak sesuai sudut *step*-nya. Motor *stepper* dapat diatur posisinya tanpa mekanisme umpan balik (*feedback*) [39].



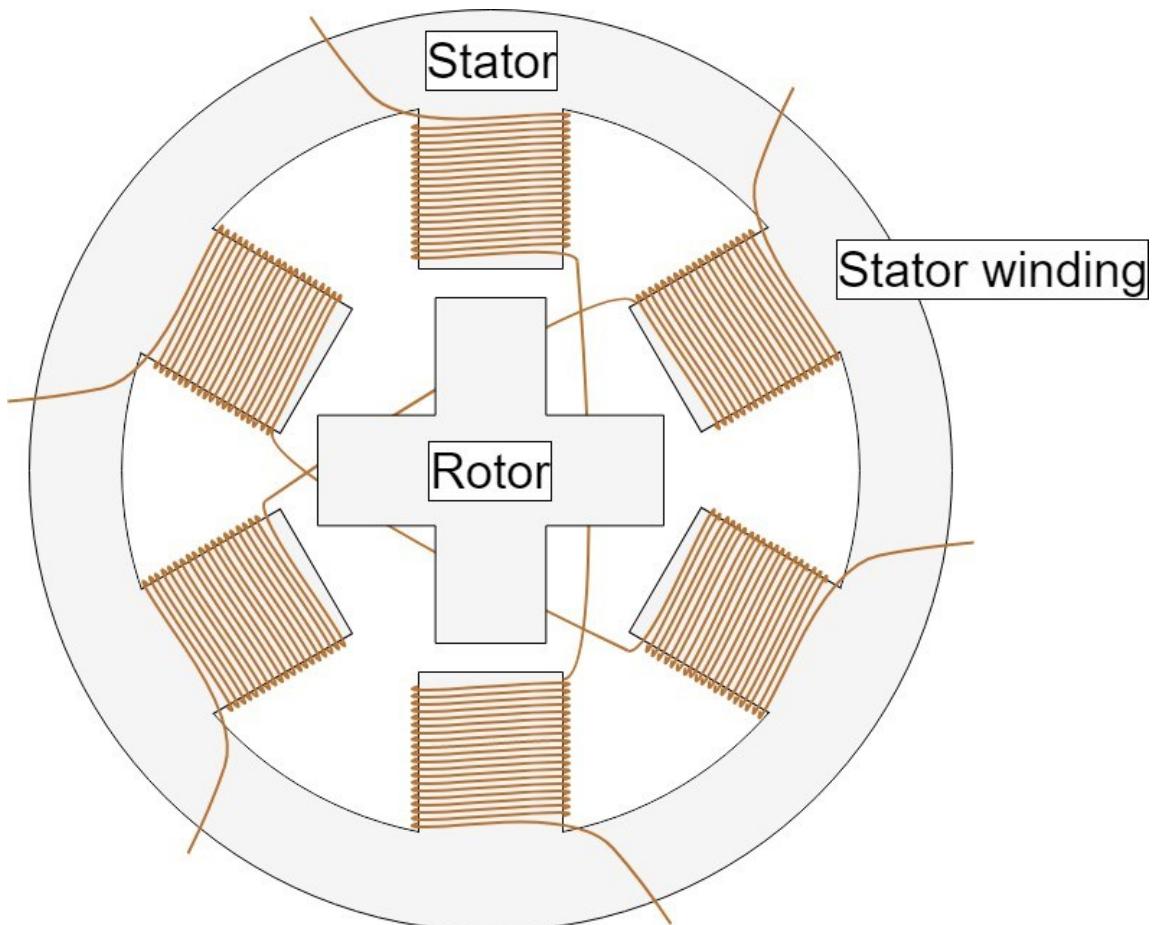
Gambar III.71. Konstruksi motor *stepper*

B. Jenis Motor *Stepper*

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

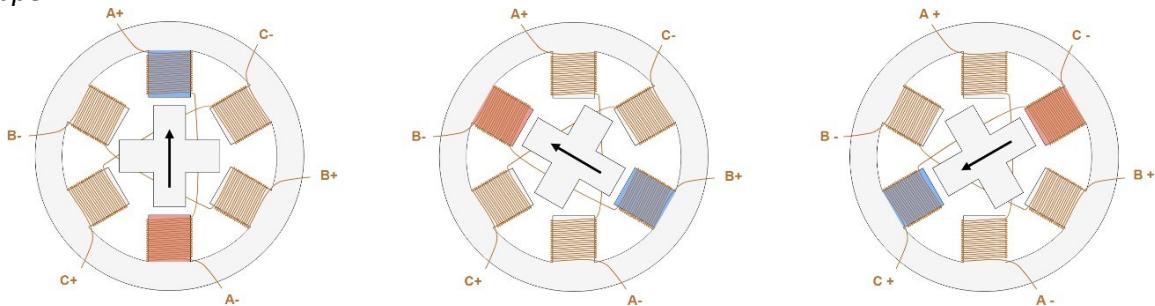
i. *Variable Reluctance* (VR)

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*. 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 [39]. Gambar III.72 di bawah ini menunjukkan konstruksi motor *stepper* jenis *variable reluctance* secara umum [40].



Gambar III.72. 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 [40]. Gambar III.73 di bawah ini merupakan representasi prinsip kerja motor *stepper*.



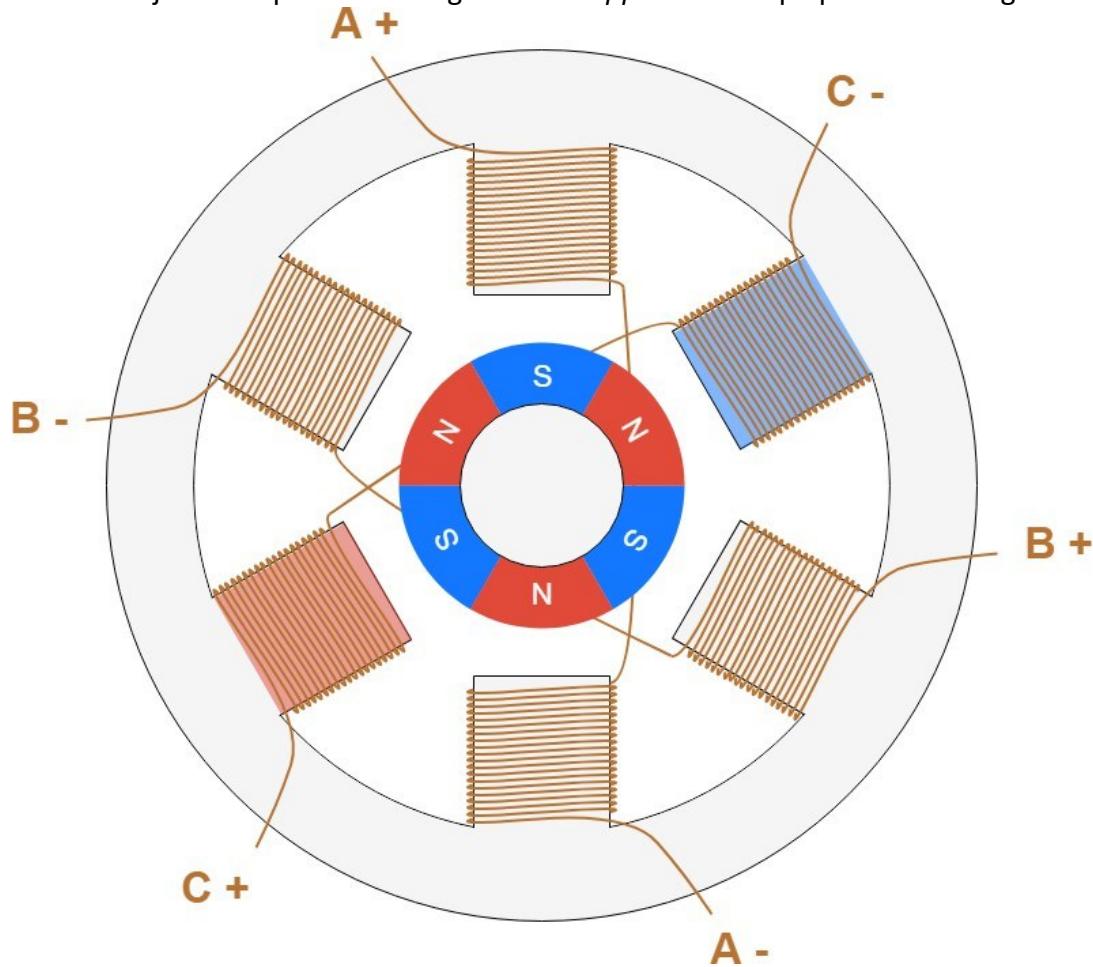
Gambar III.73. Prinsip kerja motor stepper jenis *variable reluctance*

Berdasarkan Gambar III.73, 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 III.74 [40].

ii. 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 [40]. 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°) [41]. *Stepper* permanen magnet menggunakan magnet dengan *alternating north* dan kutub selatan dengan garis lurus yang sejajar dengan poros rotor [39]. Kekurangan motor *stepper* jenis ini adalah kecepatan rotasi dan resolusi rotor yang lebih rendah dibandingkan motor *stepper* tipe lain [40]. Gambar III.74 di bawah ini menunjukkan representasi bagian dari *stepper* motor tipe permanen magnet.

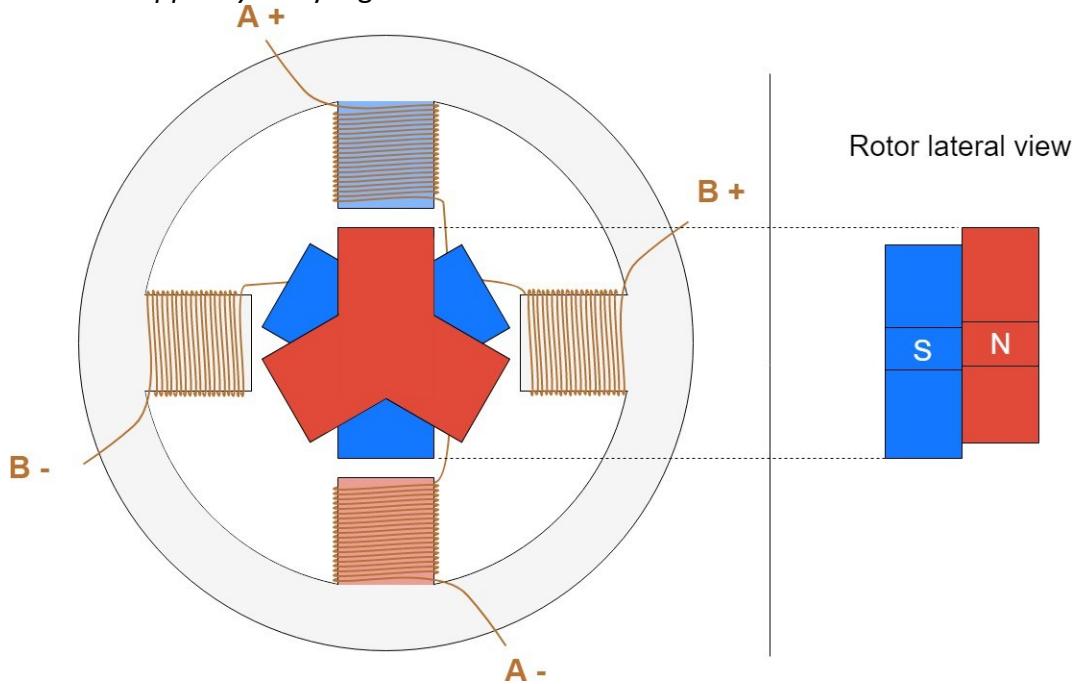


Gambar III.74. Konstruksi motor *stepper* jenis permanen magnet

iii. *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

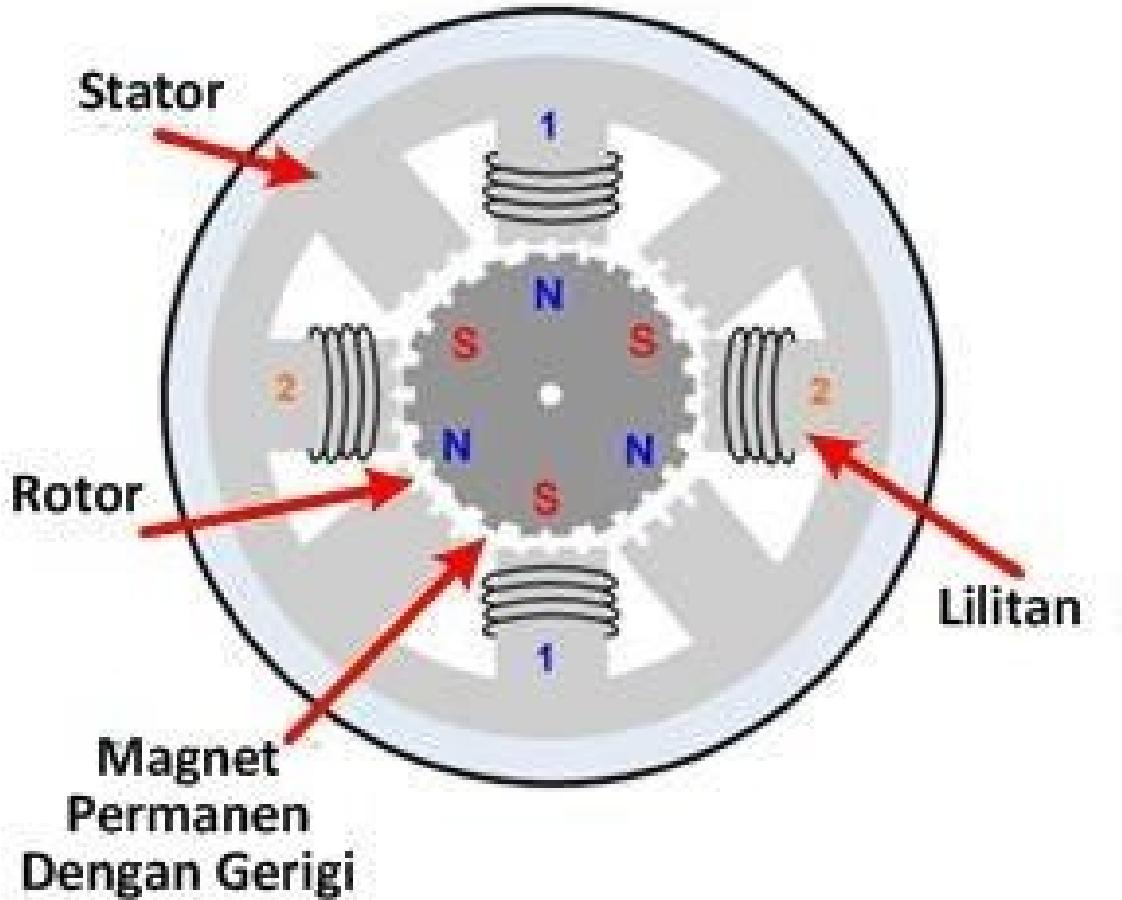
kecil. Rotor pada *stepper* jenis ini memiliki *multi-gerigi* seperti tipe VR dan berisi magnet konsentrik aksial di sekitar porosnya. *Stepper* jenis ini dapat menghasilkan sudut *step* yang tinggi, antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ setiap *step*-nya. Artinya, diperlukan 100 hingga 400 langkah untuk poros motor mencapai satu putaran penuh (360°) [39]. Gambar III.75 di bawah ini menunjukkan contoh struktur motor *stepper hybrid* yang telah disederhanakan.



Gambar III.75. 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 berikut selatan (S). Pada saat yang sama, karena struktur rotor, gerigi magnet kutub selatan (S) akan sejajar dengan stator yang geriginya berikut utara (N) [40].

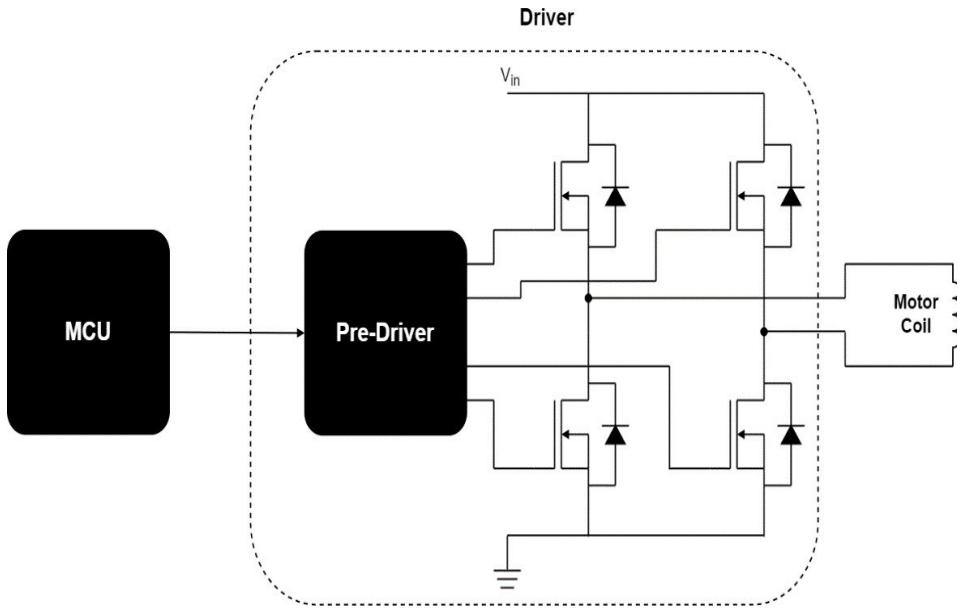
Motor Stepper Hybrid



Gambar III.76. 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 III.77 di bawah ini [40].



Gambar III.77. Pengendali motor *stepper* sederhana

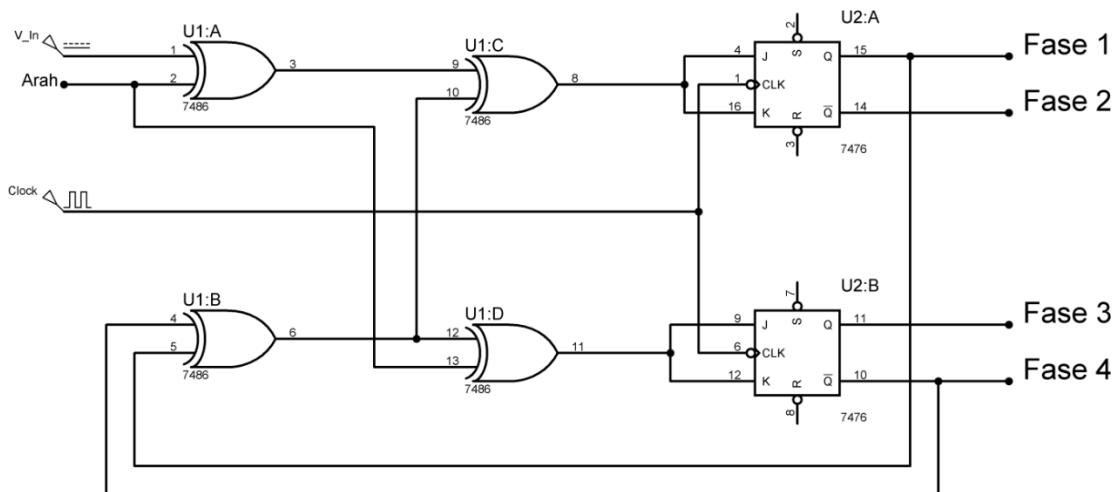
Gambar III.77 menunjukkan skema dalam IC *Driver* motor *stepper* sederhana. Skema rangkaian tersebut terdapat beberapa rangkaian elektronika, yaitu [40]:

- i. 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.
- ii. *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.
- iii. 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 [40]:

- i. *Step/Direction* – Dengan memberikan pulsa pada pin *Step*, *driver* akan mengubah keluaran sehingga motor akan berjalan secara *step*, arah putaran motor ditentukan oleh level pada pin *Direction*.
- ii. *Fase / Enable* – Untuk setiap dinding stator, fase menentukan arah arus dan memicu *Enable* jika fase diberi energi listrik.
- iii. *PWM* – Mengendalikan secara langsung sinyal *gate* pada sisi *Low* dan *High* FET.



Gambar III.78. Rangkaian dasar pengendali motor *stepper*

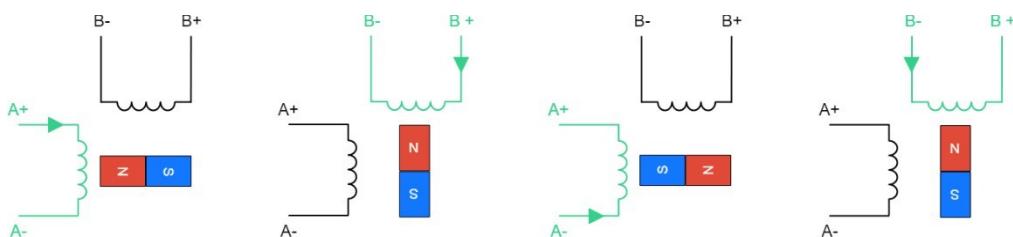
Cara kerja rangkaian pada Gambar III.78 adalah arah putaran motor dapat diatur dengan mengatur kondisi logika masukan pena 13. Jika diterapkan logika 0 (nol), maka motor akan berputar berlawanan arah jarum jam sedangkan jika diterapkan logika 1 (satu), maka motor akan berputar dengan arah sesuai dengan 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.

E. Metode Pengendalian Motor *Stepper*

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

i. Wave Mode:

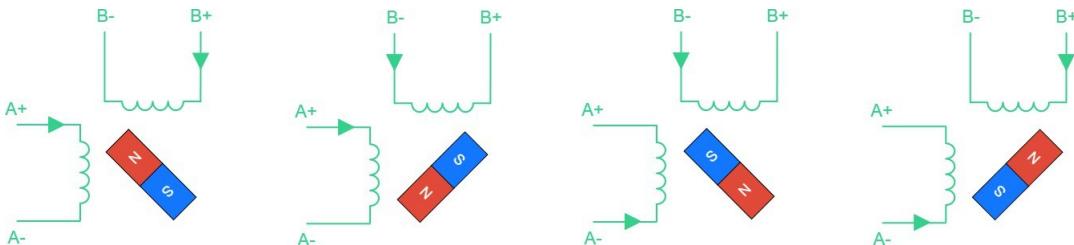
Hanya satu fase yang berenergi listrik. (lihat Gambar III.79 di bawah ini). Sederhananya adalah arus mengalir dalam arah positif jika arus mengalir dari fase kutub positif ke fase kutub negatif (contohnya adalah dari A+ ke A-), sebaliknya, arahnya akan negatif. Berawal dari kiri, arus mengalir hanya 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° [40].



Gambar III.79. Pengendalian motor *stepper* menggunakan metode *wave mode*

ii. Full Step:

Motor beroperasi dengan dua fase berenergi dalam satu waktu yang bersamaan. Gambar III.80 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 III.31 [40].



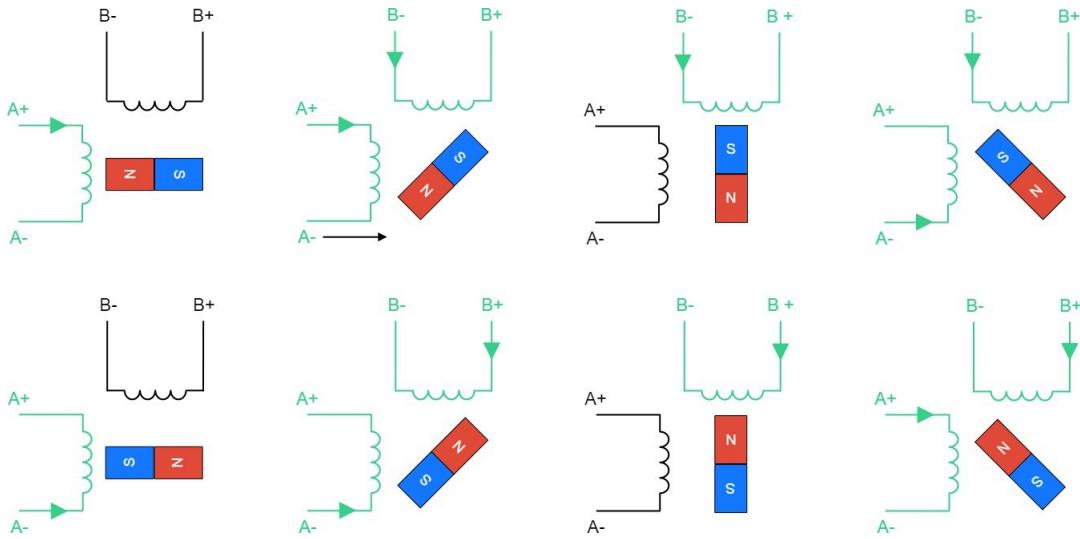
Gambar III.80. Cara kerja pengendali motor *stepper* metode *full step*

Tabel III.31. 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

iii. Half Step Mode

Kombinasi metode *wave* dengan metode *full step* (Lihat Gambar III.81 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 [40].



Gambar III.81. Pengendali motor stepper menggunakan metode half wave

Contoh sinyal masukan pada *half wave* padat dapat dilihat pada Tabel 3.23 [39].

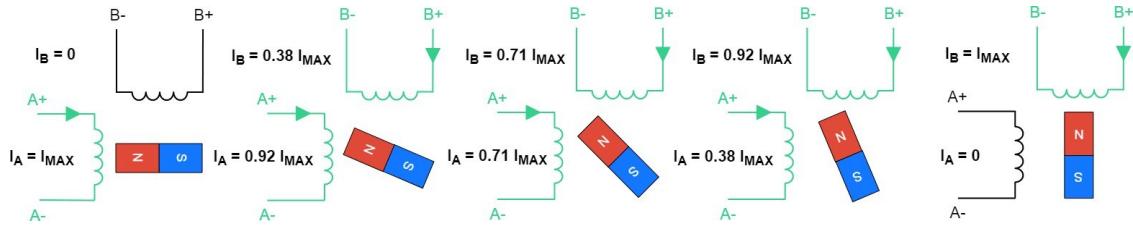
Tabel III.32. Masukan digital metode *half wave*

	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

iv. Microstepping

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 III.82 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 *step*nya. 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 *step*nya [40].



Gambar III.82. Cara kerja pengendali motor stepper metode microstepping

F. Karakteristik

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

Tabel III.33. Karakteristik motor *stepper unipolar* tipe 28BYJ48 [42]

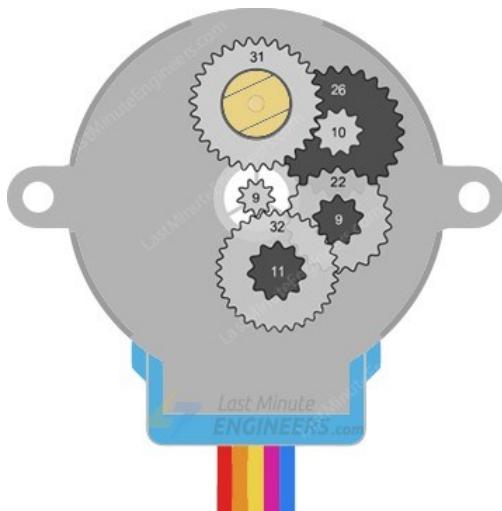
No. of Phase	4	Voltage	5 – 12 VDC
Current	40mA	Resistance	300Ω
Step Angle	5,625° (Half step mode): 8 step control signal sequence 5,625° per step or 64 steps per one revolution of the internal motor shaft 11,25° (Full step mode): 4 step control signal sequence 11,25° per step or 32 steps per one revolution of the internal motor shaft	Reduction Ratio Weight	64:1 30 g
No-load pull-out frequency	1000 pps	No-load pull-in frequency	500pps
Pull-in Torque	$\geq 29,4 \text{ mN.m}$		
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*, hanya lilitan pertama yang diberi daya, kemudian lilitan pertama dan kedua, dan seterusnya.



Gambar III.83. Motor *stepper* tipe 28BYJ-48 [43]



Gear Ratios:

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

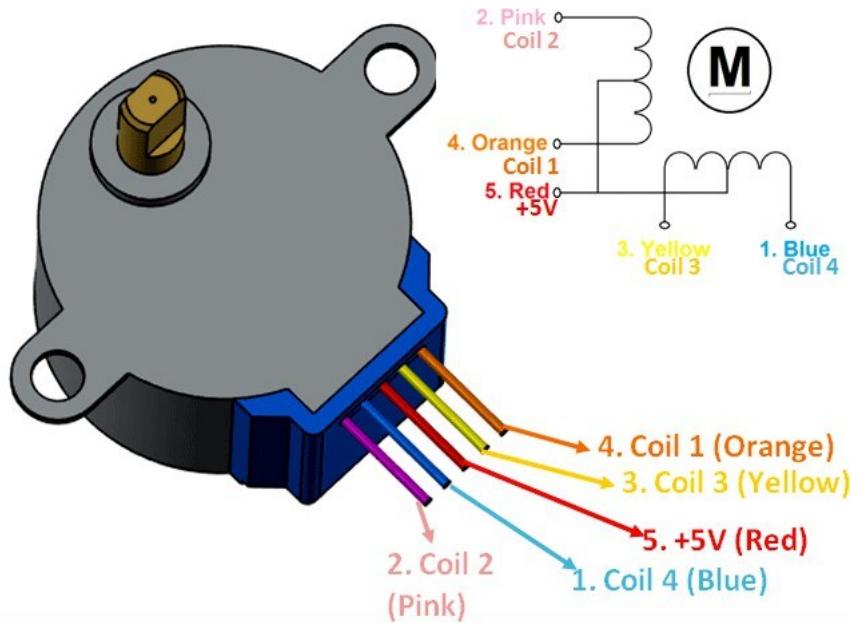
Multiplying the gear ratios:

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

Round 63.68395 up: 64

This gives us a 64:1 gear ratio over all

Gambar III.84. Gear ratio motor *stepper unipolar* tipe 28BYJ-48

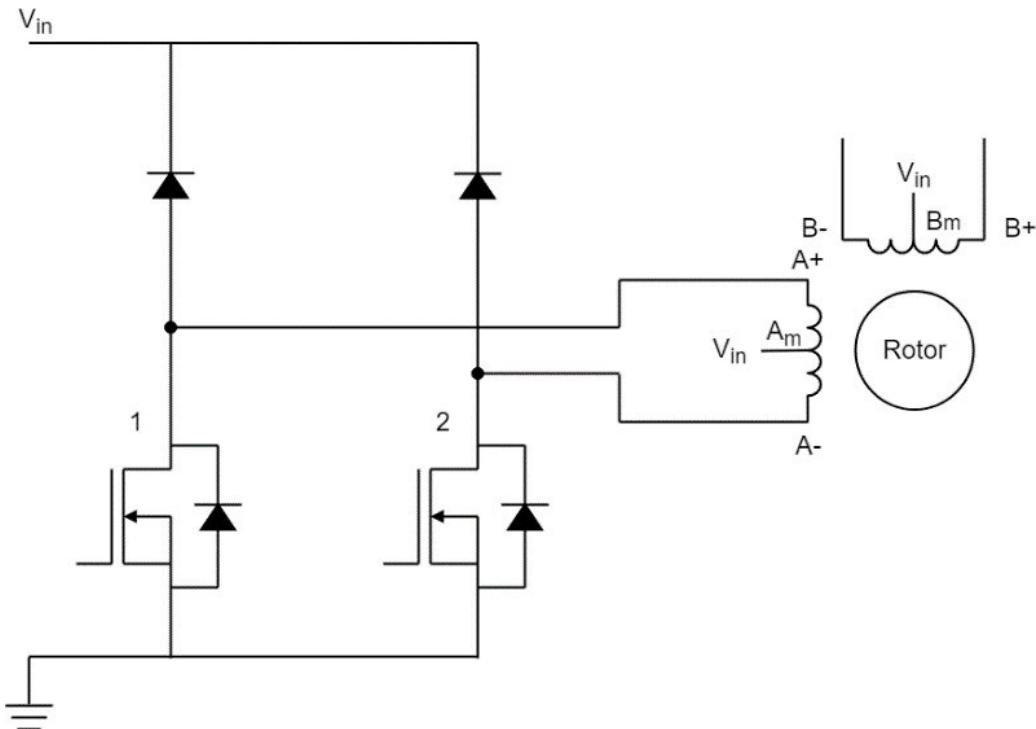


Gambar III.85. Wiring motor stepper unipolar tipe 28BYJ-48 [38]

Gambar III.85 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 di bawah ini. Di sini 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 [38].

Tabel III.34. 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	
Kuning	1	0	0	0	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 III.86. Rangkaian dasar pengendali motor *stepper* tipe *unipolar*

Gambar III.86 menunjukkan sebuah rangkaian dasar pengendali motor *stepper* tipe *unipolar*. Motor *stepper* tipe *unipolar* pada salah satu ujung lilitannya terhubung dengan titik tengah lilitan. Hal tersebut membuat motor *stepper* dapat dikendalikan arah arusnya. Titik tengah lilitan (AM) terhubung dengan tegangan masukan Vin. Jika MOSFET 1 aktif, arus mengalir dari AM ke A+. Jika MOSFET 2 aktif, arus mengalir dari AM 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 [40].

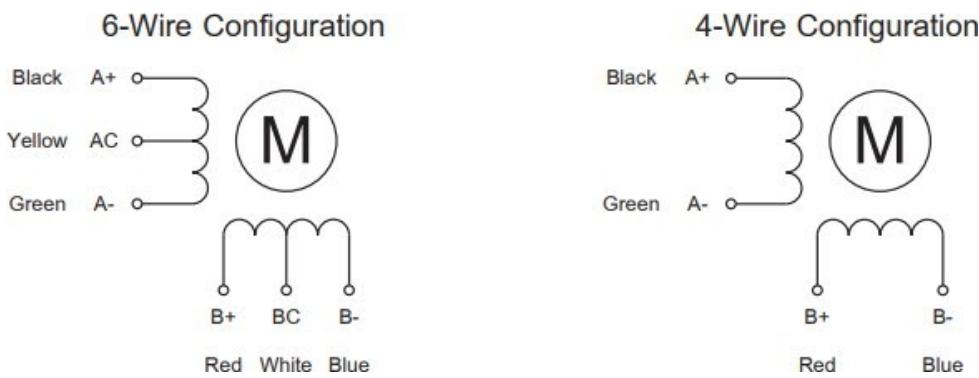
Motor *stepper* bipolar yang digunakan pada praktikum ini adalah NEMA 17. NEMA adalah singkatan dari *National Electrical Manufacturers Association*, sebuah asosiasi yang menjadi sebuah standar ukuran motor *stepper* yang banyak digunakan di dunia industri. Standar tersebut digunakan untuk memastikan 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 inci [43]. Karakteristik motor *stepper* tipe NEMA 17 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

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

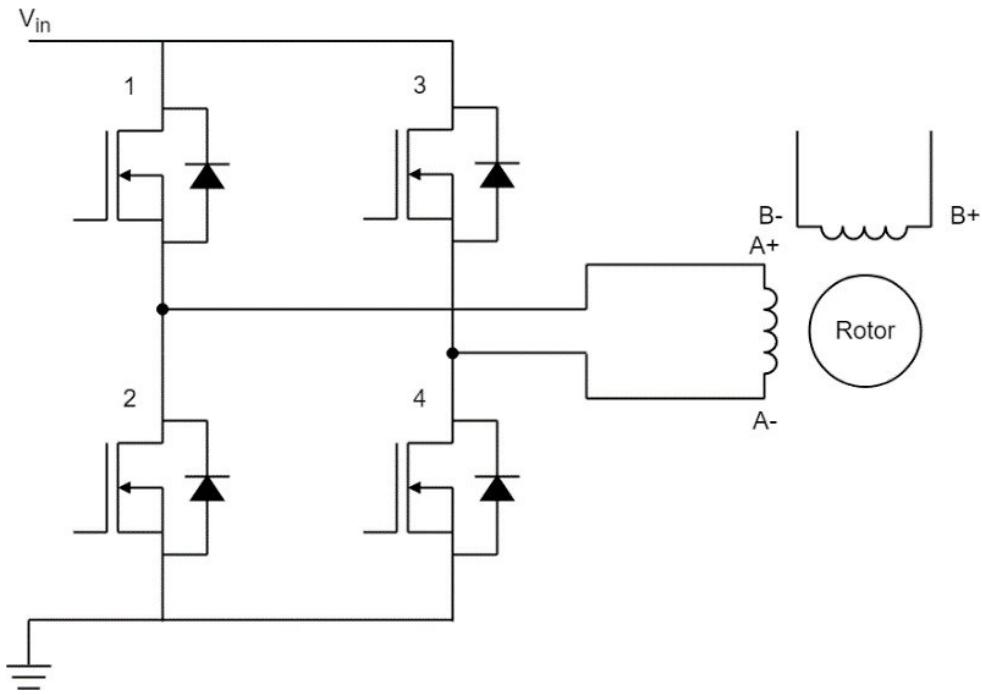
Gambar III.87. Karakteristik motor stepper jenis bipolar

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

Gambar III.88. Warna dan konfigurasi kabel motor stepper jenis bipolar



Gambar III.89. Konfigurasi kabel motor stepper tipe bipolar

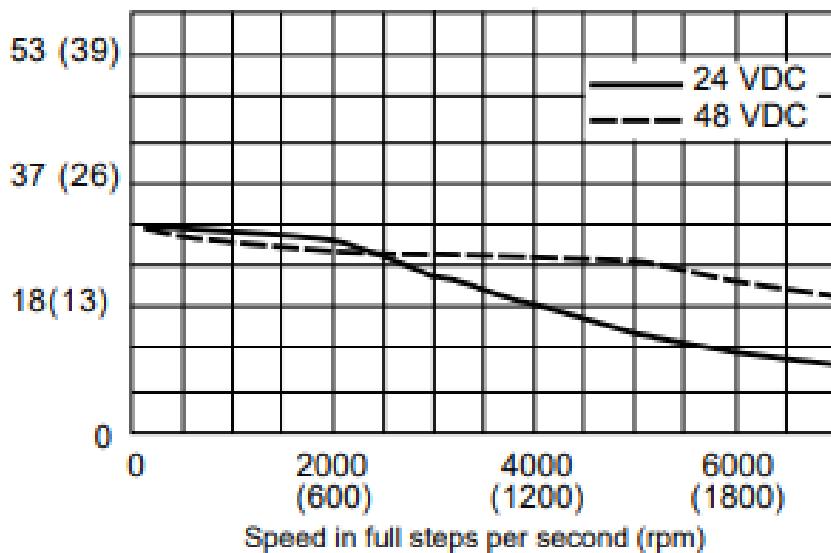


Gambar III.90. Rangkaian dasar pengendali motor *stepper* tipe *bipolar*

Gambar III.90 menunjukkan rangkaian dasar pengendali 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 [40].

M-1713-1.5

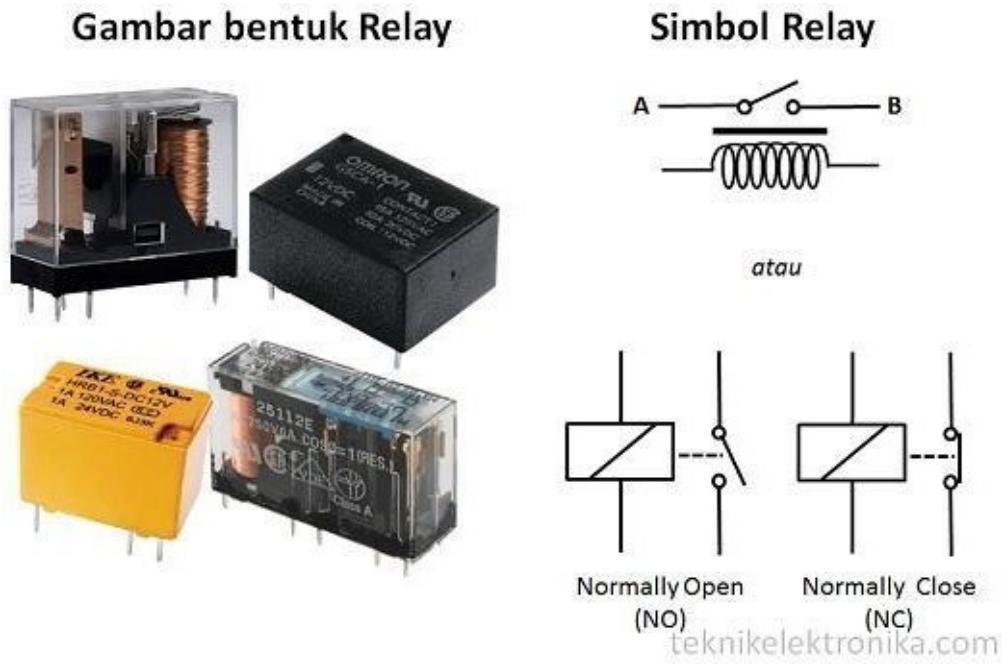
Torque in oz-in (N-cm)



Gambar III.91. Hubungan torsi terhadap rotasi per menit motor *stepper* tipe *bipolar*

A. Fenomena Fisis

Relay merupakan sebuah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanik yang terdiri atas dua bagian, yaitu elektromagnet (*coil*) dan mekanik (kontak saklar/*switch*) [44]. 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 [45].

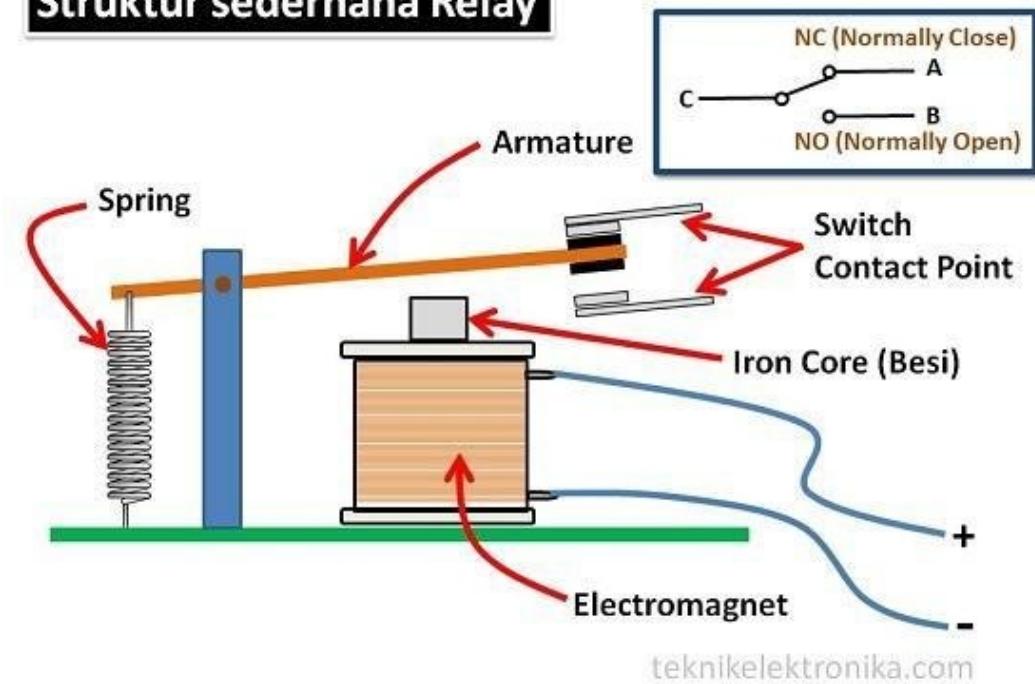


Gambar III.92. Bentuk dan simbol *Relay* [44]

Pada dasarnya, *relay* terdiri atas empat komponen utama, yaitu:

- i. Elektromagnet (*coil*)
- ii. Armature
- iii. Switch Contact Point (saklar)
- iv. Spring

Struktur sederhana Relay



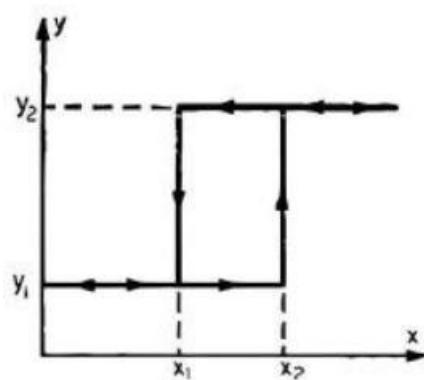
Gambar III.93. Struktur Relay [44]

Contact Point *Relay* terdiri atas dua jenis, yaitu:

- Normally Close* (NC), yaitu kondisi awal ketika *Relay* belum diaktifkan berada di posisi *CLOSE* (tertutup)
- 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 III.94. Model karakteristik relay [46]

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* [46].

35. 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 prosesor yang digunakan. Jika semakin kompleks perancangan dan program yang dibuat, maka harus sesuai pula jenis *controller* yang digunakan. Yang membedakan antara Arduino yang satu dengan yang lainnya adalah penambahan fungsi dalam setiap *board*-nya dan jenis *microcontroller* yang digunakan. Pada praktikum ini secara umum akan digunakan Arduino UNO. Berikut spesifikasi dari Arduino UNO [47].

Tabel III.35. Spesifikasi Arduino UNO

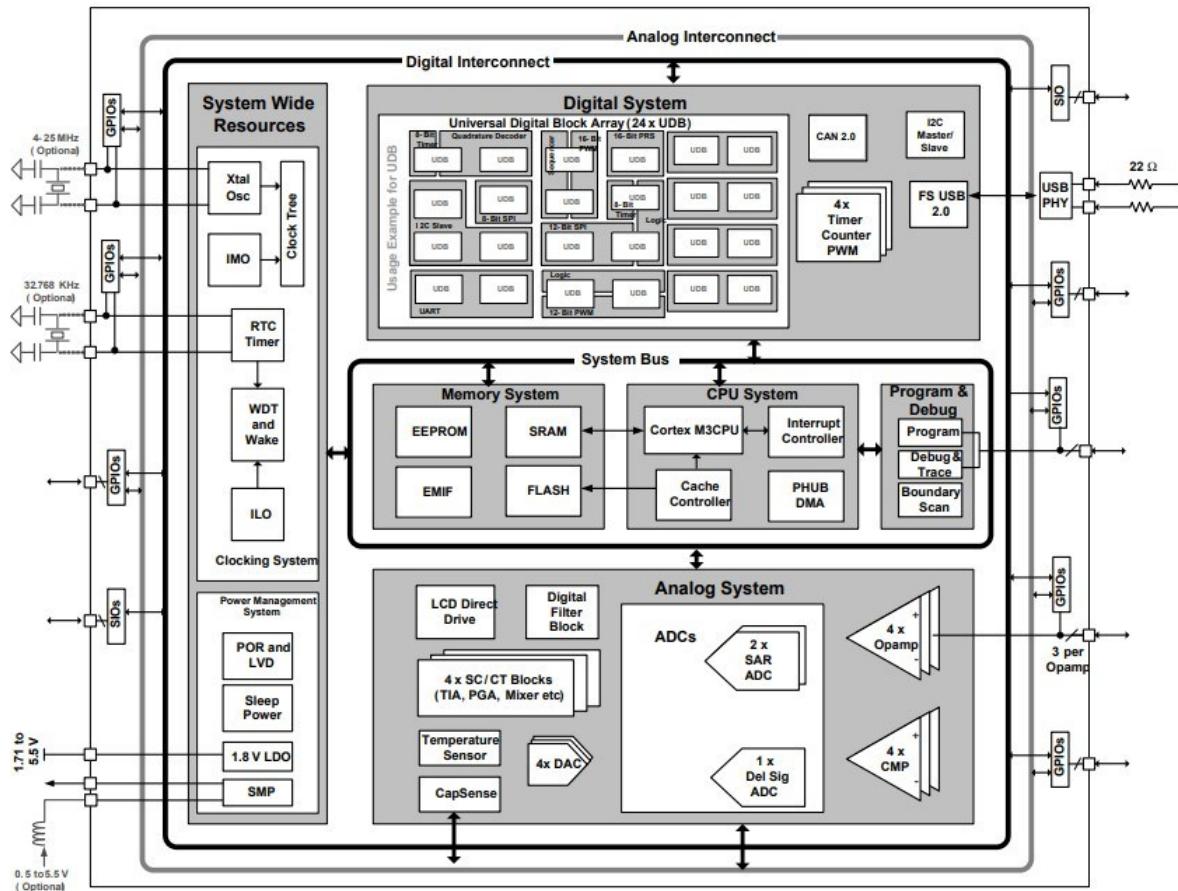
<i>Microcontroller</i>	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5V
Tegangan input yang disarankan	7-12V
Batas tegangan input	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14 (6 di antaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (ATmega328),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

36. 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 instrumen 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 III.95. Diagram blok PSoC

37. 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 *system 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 III.36. 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	802.11n Wireless LAN
Bluetooth	Bluetooth 4.1 (built-in), Bluetooth Low Energy (BLE)
GPIO	40 Pin
Port USB	4 USB Ports
Card Storage	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 Operasi	Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux ARM, RISC OS

IV. Percobaan

- A. Modul PSI-01: Sistem Sensor Jarak
 - i. Alat dan Bahan

Tabel IV.1. Alat dan bahan Modul PSI-01

No.	Alat dan 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.	Benda hitam	1
15.	Laptop	2

ii. Prosedur Praktikum

Percobaan 1a

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan kaki Vcc SRF05 ke sumber tegangan 5V dan kaki *ground* ke *ground*.
3. Hubungkan kaki *Trigger* SRF05 ke *function generator*.
4. Hubungkan osiloskop ke kaki *Echo* dan *ground* SRF05.
5. Atur *function generator* pada 5Vpp dan 40 kHz.
6. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas *buffalo* yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor SRF05 dilakukan pengukuran setiap 10 cm dengan variasi jarak 0–4 m.
7. Amati dan catat lebar pulsa yang terbaca pada osiloskop.
8. Buat persamaan konversi dari periode dari sinyal PWM menjadi jarak untuk pembacaan SRF05.

Percobaan 1b

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.

2. Hubungkan kaki Vcc Sharp GP2D12 ke sumber tegangan 5V, kaki *ground* ke *ground*, dan kaki *output* ke multimeter.
3. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas *buffalo* yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor Sharp GP2D12 dilakukan pengukuran setiap 2 cm dengan variasi jarak 0–40 cm.
4. Amati dan catat tegangan keluaran Sharp GP2D12 yang terbaca pada multimeter.
5. Buat persamaan konversi dari tegangan menjadi jarak untuk pembacaan Sharp GP2D12.
6. Buat plot grafik jarak terhadap tegangan.

Percobaan 2a

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buka aplikasi Arduino IDE pada laptop dan hubungkan Arduino.
3. Rangkai SRF05 pada Arduino.
4. Susun *source code* pada aplikasi Arduino IDE sesuai dengan *flowchart* pada modul.
5. *Upload source code* ke Arduino sampai berhasil menggunakan laptop.
6. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas *buffalo* yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor SRF05 dilakukan pengukuran setiap 10 cm dengan variasi jarak 0–6 m.
7. Amati dan catat hasil jarak yang didapatkan.

Percobaan 2b

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buka aplikasi Arduino IDE pada laptop dan hubungkan Arduino.
3. Rangkai Sharp GP2D12 pada Arduino.
4. Susun *source code* pada aplikasi Arduino IDE sesuai dengan *flowchart* pada modul.
5. *Upload source code* ke Arduino sampai berhasil menggunakan laptop.
6. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas *buffalo* yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor Sharp GP2D12 dilakukan pengukuran setiap 2 cm dengan variasi jarak 0–40 cm.
7. Amati dan catat hasil jarak yang didapatkan.
8. Ulangi pengukuran seperti pada langkah 6 menggunakan cermin dan benda hitam, lalu analisis perbedaannya.

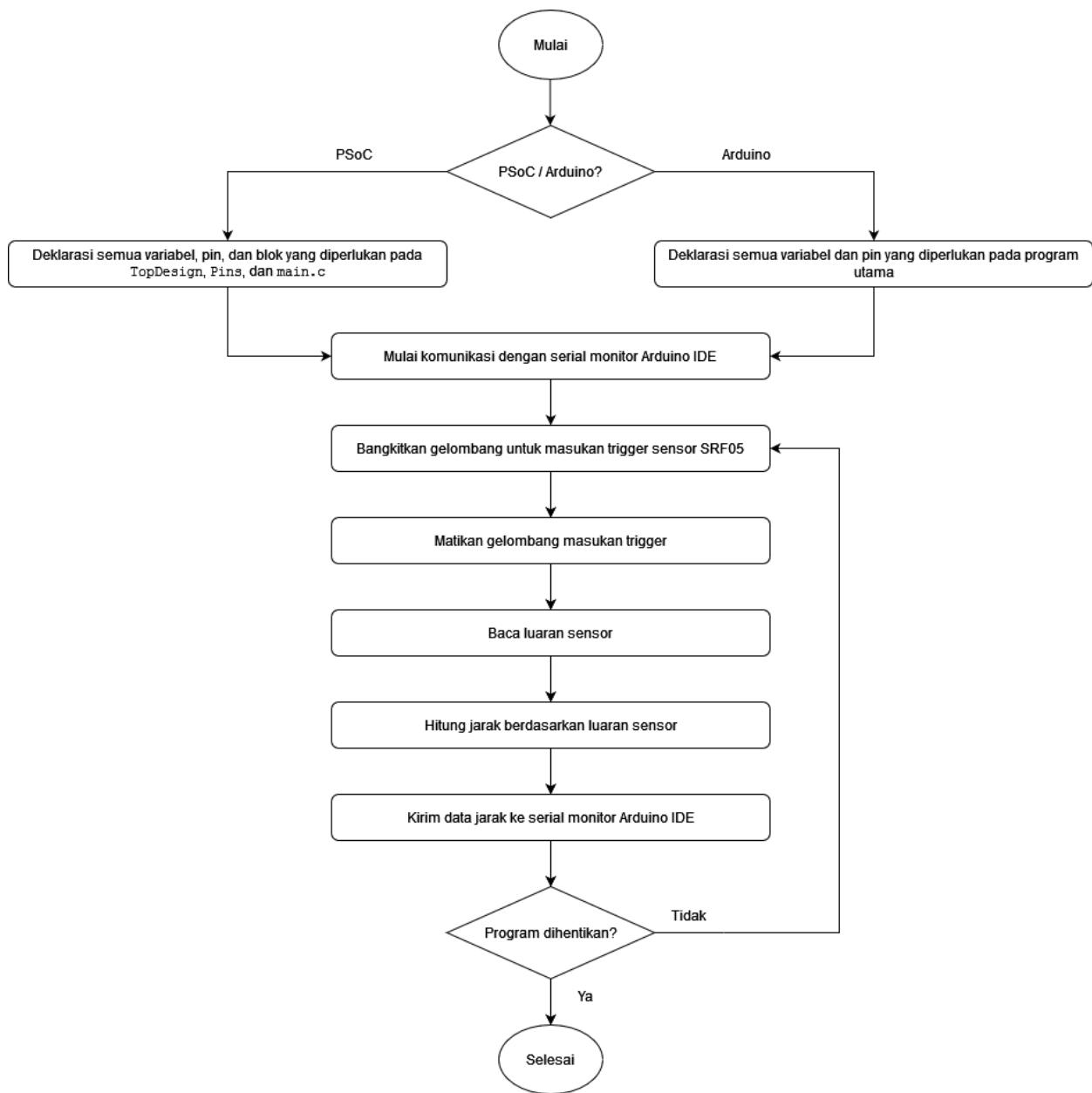
Percobaan 3a

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buka aplikasi Arduino IDE dan PSoC Creator pada laptop, kemudian hubungkan PSoC.
3. Rangkai SRF05 pada PSoC.
4. Gunakan blok PWM pada PSoC dan hubungkan pada pin *trigger*.

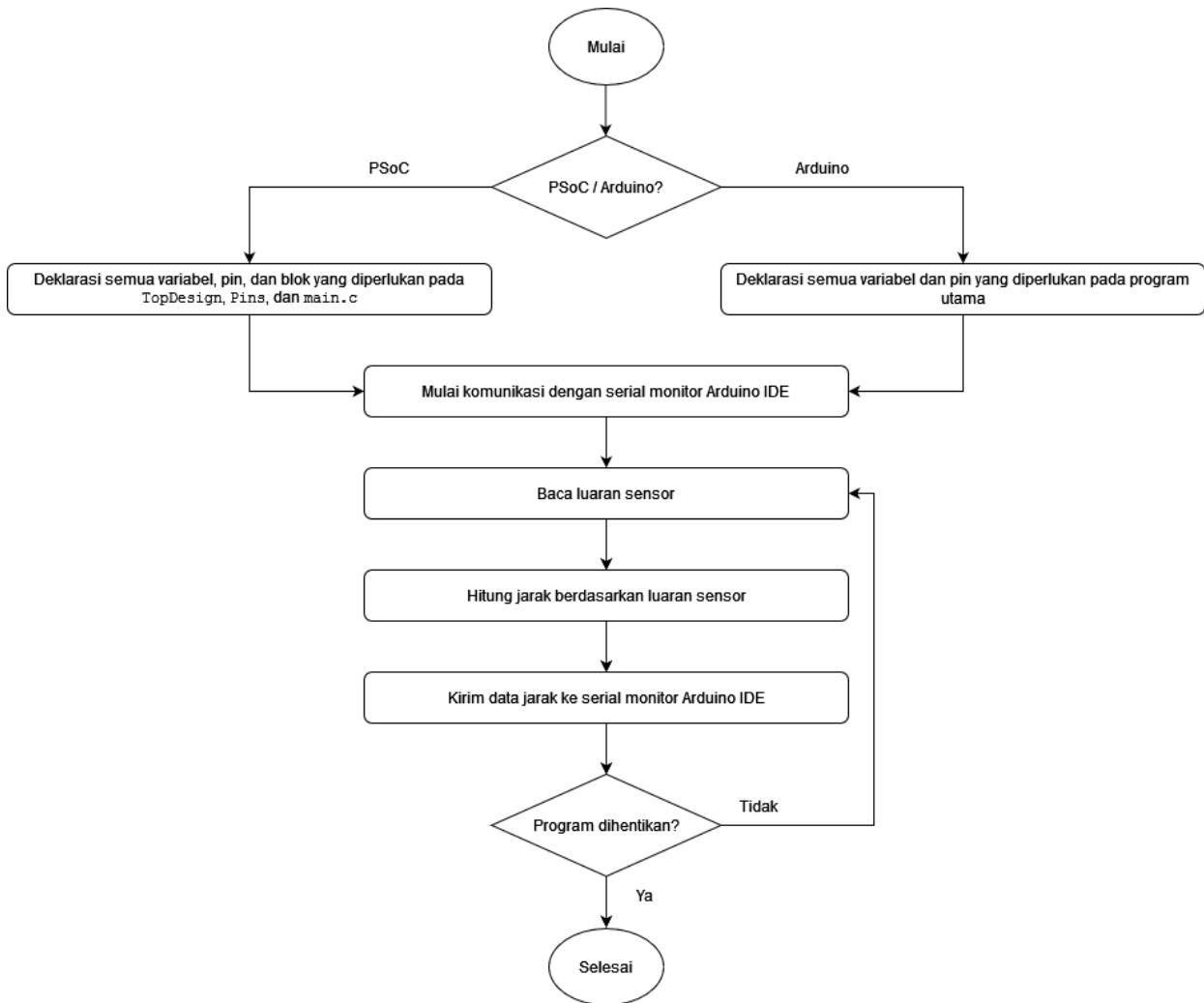
5. Gunakan blok *timer* pada PSoC dan hubungkan pada pin *echo*.
6. Atur konfigurasi PWM dan *timer* pada *Top Design* sesuai dengan percobaan 1a.
7. Susun *source code* dan blok yang diperlukan pada PSoC Creator pada laptop sesuai dengan *flowchart* pada modul dan masukkan persamaan yang Anda dapatkan pada percobaan 1a untuk mengonversi periode pulsa PWM yang didapatkan menjadi jarak.
8. *Build source code* ke PSoC sampai berhasil menggunakan laptop.
9. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas *buffalo* yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor SRF05 dilakukan pengukuran untuk 10, 40, 60, 100, dan 200 cm.
10. Amati dan catat hasil jarak yang didapatkan.

Percobaan 3b

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buka aplikasi Arduino IDE dan PSoC Creator pada laptop, kemudian hubungkan PSoC.
3. Rangkai Sharp GP2D12 pada PSoC.
4. Gunakan blok ADC pada PSoC.
5. Atur konfigurasi ADC 10-bit pada *Top Design*.
6. Susun *source code* dan blok yang diperlukan pada PSoC Creator pada laptop sesuai dengan *flowchart* pada modul dan masukkan persamaan yang Anda dapatkan pada percobaan 1b untuk mengonversi tegangan yang dibaca oleh ADC menjadi jarak.
7. *Build source code* ke PSoC sampai berhasil menggunakan laptop.
8. Lakukan pengukuran menggunakan sensor terhadap kertas *buffalo* yang diletakkan pada variasi jarak yang diberikan. Sensor Sharp GP2D12 dilakukan pengukuran untuk 4, 10, 15, 20, dan 35 cm.
9. Amati dan catat hasil jarak yang didapatkan.
10. Ulangi pengukuran seperti pada langkah 8 menggunakan cermin dan benda hitam, analisis perbedaannya.



Gambar IV.1. Diagram alir Sharp GP2D12



Gambar IV.2. Diagram alir SRF05

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.2. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-01.01a dan PSI-01.01b

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

Tabel IV.3. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-01.02a dan PSI-01.02b

No.	Sensor			
	Sharp GP2D12		SRF05	
	Jarak Sesungguhnya	Jarak Terukur	Jarak Sesungguhnya	Jarak Terukur
1.				
2.				
3.				
...				

Tabel IV.4. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-01.03a dan PSI-01.03b

No.	Sensor			
	Sharp GP2D12		SRF05	
	Jarak Sesungguhnya	Jarak Terukur	Jarak Sesungguhnya	Jarak Terukur
1.				
2.				
3.				
...				

B. Modul PSI-02: Sistem Sensor Massa Objek

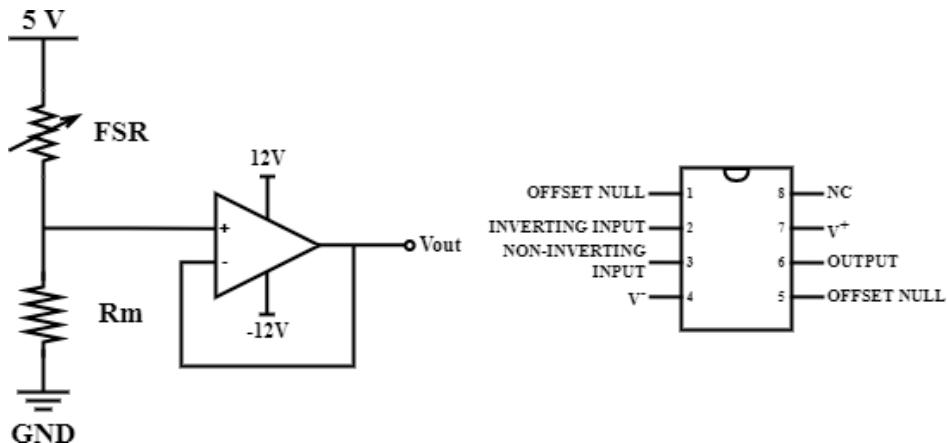
i. Alat dan Bahan

Tabel IV.5. Alat dan bahan Modul PSI-02

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	<i>Power Supply</i>	1
3.	<i>Project Board</i>	1
4.	Kabel Jumper	Secukupnya
5.	Resistor 3K	4
6.	Resistor 10K	4
7.	Resistor 30K	4
8.	Resistor 100K	4
9.	FSR	4
10.	Load Cell	4
11.	HX711	4
12.	Arduino	1
13.	PSoc 5LP	1
14.	Raspberry Pi 3B	1
15.	Laptop	1
16.	Timbangan Digital 100 gram–20 kg	1
17.	Koin Rp 500 Aluminium	5
18.	Koin Rp 1000	5
19.	Koin Rp 500 Tembaga	5
20.	LM741	4

ii. Prosedur Praktikum

Percobaan 1



Gambar IV.3. Rangkaian percobaan PSI-02.01 dan PSI-02.02

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan salah satu kaki FSR ke sumber tegangan 5 V pada Arduino.
3. Hubungkan kaki lain dari FSR dengan resistor R_m dan *Op-Amp* seperti Gambar IV.3.
4. Hubungkan kaki lain resistor R_m ke pin GND pada Arduino.
5. Hubungkan keluaran *Op-Amp* dengan salah satu pin Analog pada Arduino.
6. Buka aplikasi Arduino IDE pada laptop , lalu buatlah program sesuai Gambar IV.4.
7. Hubungkan Arduino ke laptop dan *upload* program yang telah dibuat ke Arduino hingga berhasil.
8. Letakkan koin pada FSR, variasikan massa dengan menambah koin yang ditumpuk.
9. Catat massa beban ketika mulai terjadi perubahan nilai keluaran.
10. Catat tegangan keluaran dari rangkaian yang ditampilkan pada Serial Monitor Arduino.
11. Ulangi percobaan tersebut dengan memvariasikan R_m dengan 3 nilai hambatan berbeda.
12. Plot grafik massa terhadap tegangan untuk masing-masing R_m .



Gambar IV.4. Diagram alir program untuk percobaan PSI-02.01

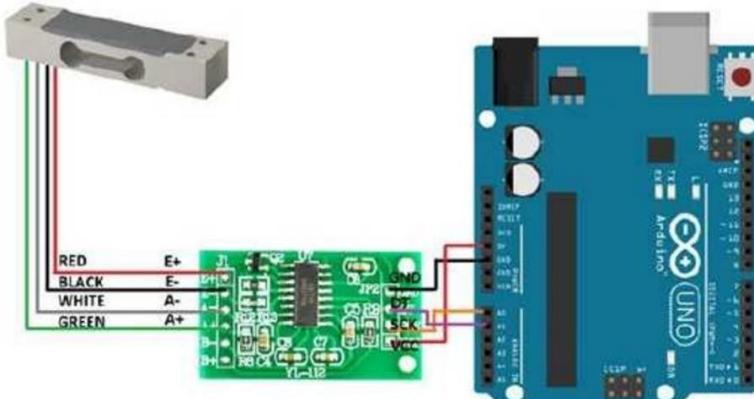
Percobaan 2

- i. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
- ii. Rangkailah komponen-komponen percobaan 3 sesuai Gambar IV.3.
- iii. Gunakan Rm yang menghasilkan keluaran terbaik berdasarkan hasil percobaan 1.
- iv. Bukalah aplikasi PSoC Creator, lalu susun program dan blok yang diperlukan pada PSoC Creator sesuai Gambar IV.4.
- v. Hubungkan PSoC dengan Laptop dan *build* program yang telah dibuat sampai berhasil.
- vi. Buka Arduino IDE untuk melihat tegangan keluaran pada Serial Monitor.
- vii. Letakkan koin pada FSR, variasikan massa dengan menambah koin yang ditumpuk.
- viii. Catat massa beban ketika mulai terjadi perubahan nilai keluaran.
- ix. Catat tegangan keluaran dari rangkaian yang ditampilkan pada Serial Monitor Arduino.

- x. Ulangi percobaan tersebut dengan memvariasikan resolusi ADC yang digunakan menjadi 10, 12, dan 16 bit.
- xi. Plot grafik massa terhadap tegangan untuk masing-masing resolusi ADC.

Percobaan 3

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Rangkai *load cell*, HX711, dan Arduino sesuai dengan skema pada Gambar IV.5.

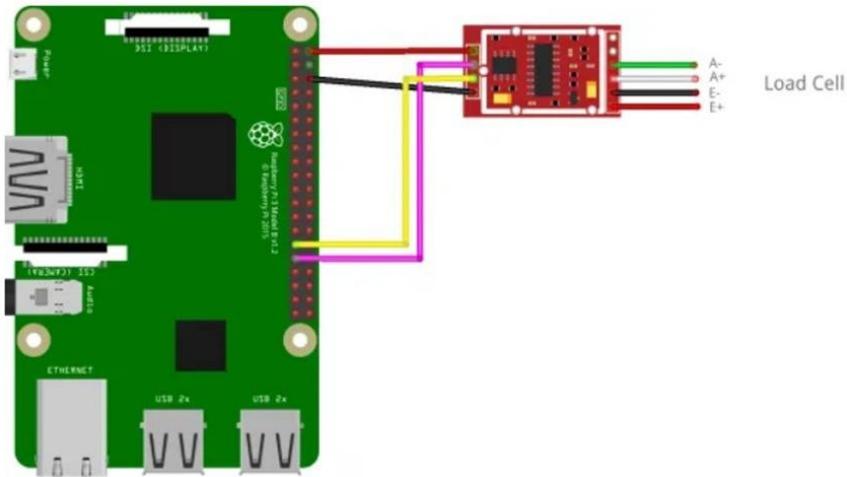


Gambar IV.5. Rangkaian load cell dan HX711 pada Arduino UNO

3. Unduh pustaka HX711 untuk Arduino IDE (<https://bit.ly/3BdVTYc>)
4. Kalibrasi *load cell* HX711 dengan kode berikut (komunikasi dengan asisten)
5. Unggah program yang digunakan untuk membaca nilai *load cell* (komunikasi dengan asisten)
6. Ukur massa beban yang akan Anda gunakan untuk mengalibrasi sensor menggunakan timbangan digital.
7. Letakkan beban tersebut pada penampang *load cell*.
8. Catat nilai yang ditampilkan pada serial monitor Arduino IDE.
9. Bandingkan hasil pengukuran massa menggunakan *load cell* dan timbangan digital.
10. Buatlah persamaan kalibrasi sesuai dengan perbandingan massa beban berdasarkan timbangan digital dan keluaran pada serial monitor Arduino IDE.
11. Masukkan persamaan kalibrasi tersebut pada *source code* Arduino.
12. Lakukan pengukuran kembali menggunakan beban yang sama.
13. Bandingkan hasil pengukuran sebelum dan sesudah kalibrasi.

Percobaan 4

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Rangkai *load cell*, HX711, dan Raspberry Pi sesuai dengan *port* yang sudah ditentukan pada Gambar IV.6.



Gambar IV.6. Rangkaian load cell + HX711 pada 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)
3. Unduh pustaka HX711 untuk Raspberry Pi ([hx711 · PyPI](#)).
 4. Lakukan pengukuran sesuai dengan prosedur pada percobaan 3.

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.6. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.01

R_m =		
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)
1.		
2.		
3.		
...		
R²=		
R_m =		
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)
1.		
2.		
3.		
...		
R²=		

R_m =		
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)
1.		
2.		
3.		
...		
R²=		

Tabel IV.7. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.02

ADC =		
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)
1.		
2.		
3.		
...		
R²=		
ADC =		
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)
1.		
2.		
3.		
...		
R²=		
ADC =		
No.	Massa Sebenarnya (gram)	Tegangan Keluaran (volt)
1.		
2.		
3.		
...		
R²=		

Tabel IV.8. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.03

Timbangan	Keluaran <i>Load cell</i>		Δ Massa
	Massa	Sebelum Kalibrasi	Setelah Kalibrasi

Tabel IV.9. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-02.04

Timbangan	Keluaran <i>Load cell</i>		Δ Massa
	Massa	Sebelum Kalibrasi	Setelah Kalibrasi

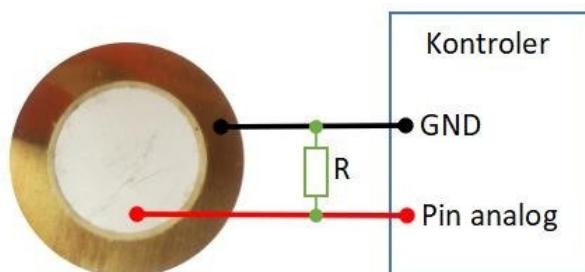
C. Modul PSI-03: Sistem Sensor Audio & Getaran

i. Alat dan Bahan

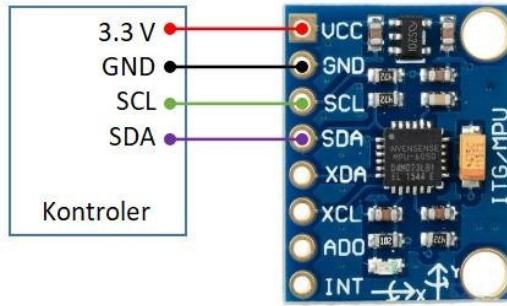
Tabel IV.10. Alat dan bahan Modul PSI-03

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	Project Board	1
3.	Kabel Jumper	Secukupnya
4.	Arduino	1
5.	PSoC 5LP	1
6.	RaspberryPi 3B	1
7.	Laptop	3
8.	Piezoelektrik	4
9.	Pegas 2 mm	4
10.	MPU6050	4
11.	Condenser	4
12.	Batang Logam	1
13.	Bor Tangan	1
14.	Mixer Tangan	1
15.	Resistor 1 MΩ	1
16.	Resistor 2,2 kΩ	1
17.	Kapasitor 1 uF	1

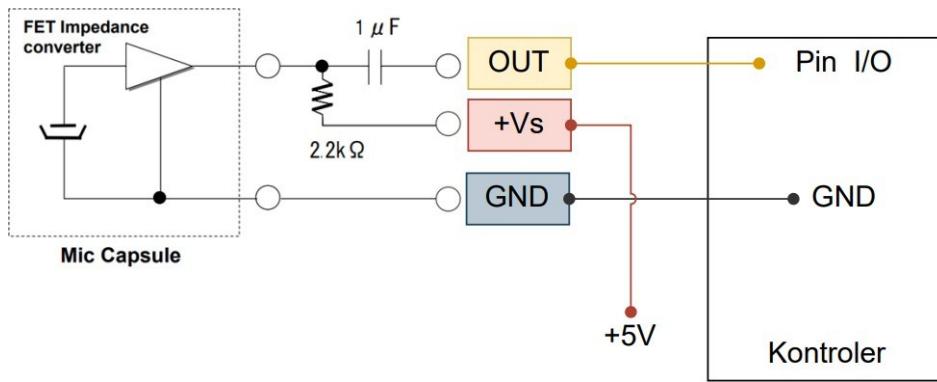
ii. Prosedur Praktikum



Gambar IV.7. Rangkaian sensor piezoelektrik



Gambar IV.8. Rangkaian sensor MPU6050



Gambar IV.9. Rangkaian sensor kondenser

Percobaan 1:

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Susun rangkaian piezoelektrik, kondenser, dan MPU6050 pada Arduino sesuai modul.
3. Buka aplikasi Arduino IDE pada laptop, lalu hubungkan dengan Arduino.
4. Susun *source code* pada aplikasi Arduino IDE pada laptop sesuai dengan *flowchart* pada modul.
5. *Upload source code* ke Arduino sampai berhasil menggunakan laptop.
6. Munculkan serial monitor pada aplikasi Arduino IDE pada Laptop.
7. Siapkan *source code* untuk menerima dan menyimpan data dari serial Arduino dalam berkas .txt/.csv pada laptop.
8. Letakkan rangkaian sensor sejauh 5 cm dari sumber getaran.
9. Nyalakan sumber getaran dan upayakan agar seluruh getaran yang diterima oleh sensor hanya getaran yang merambat di udara.
10. Catat data keluaran dari masing-masing sensor selama 10 menit secara bersamaan.
11. Ulangi pengukuran sesuai dengan variasi pada tabel pengamatan.

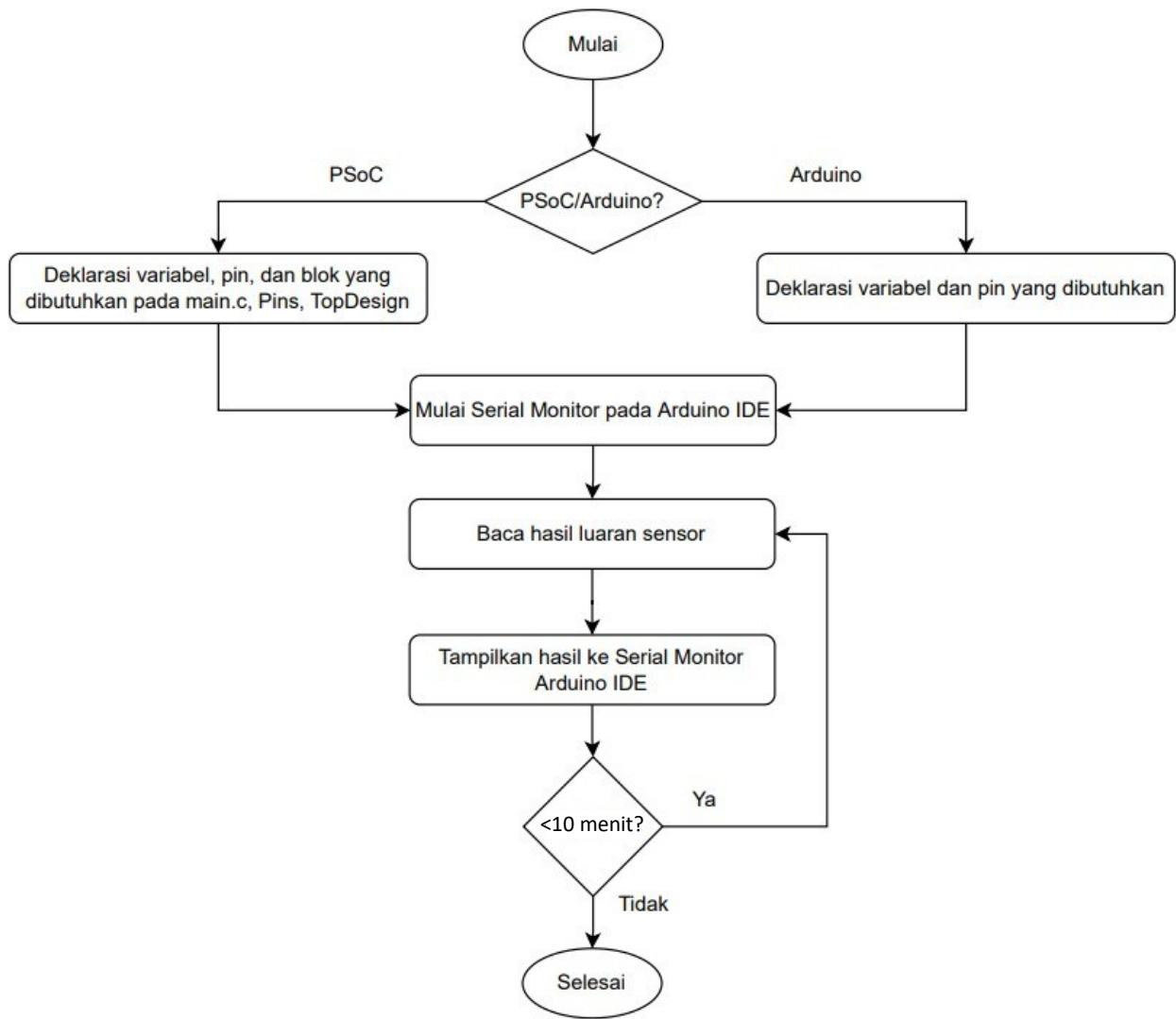
Percobaan 2:

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.

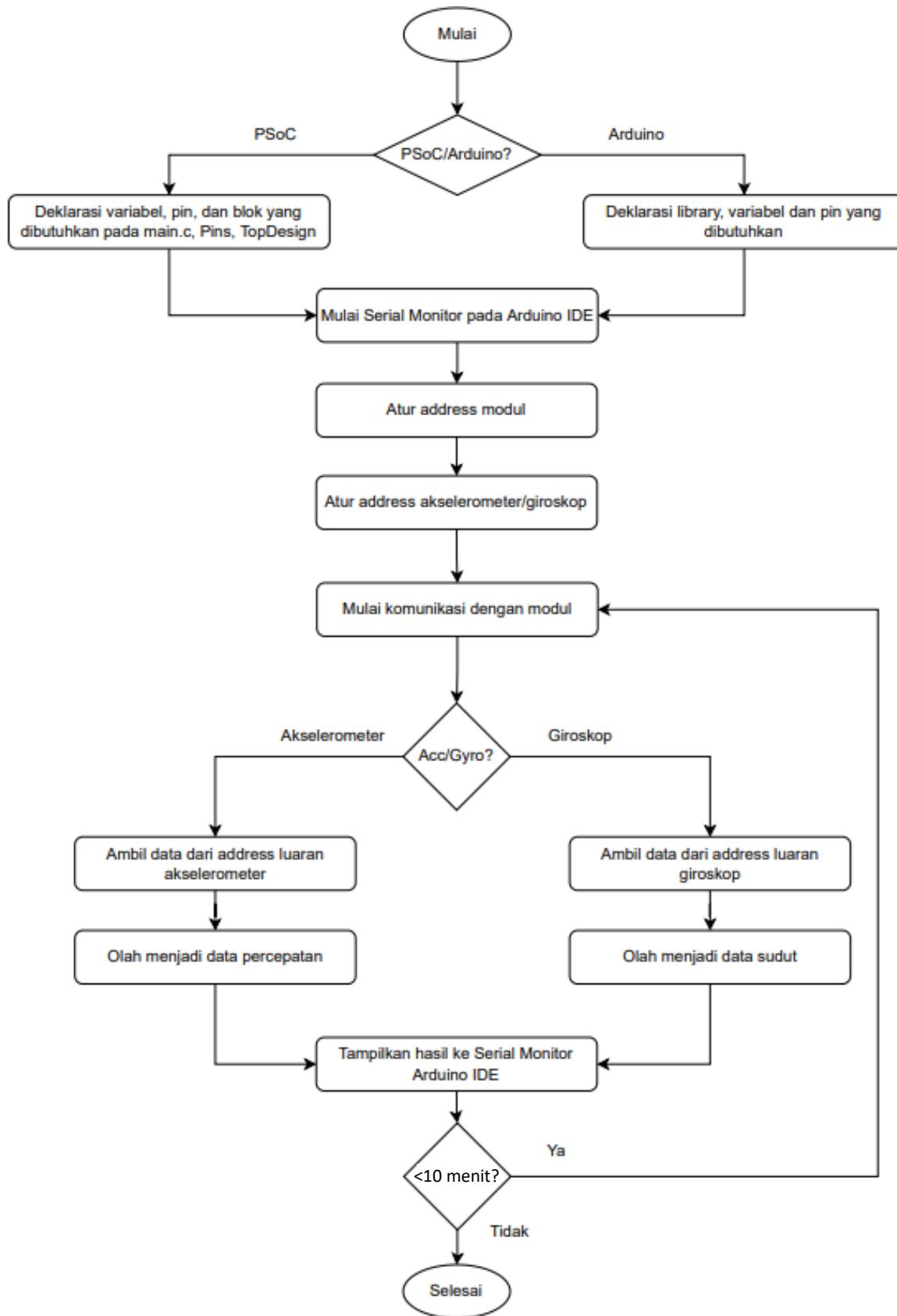
2. Susun rangkaian piezoelektrik dan kondenser pada PSoC sesuai modul.
3. Buka aplikasi PSoC Creator pada laptop, lalu hubungkan dengan PSoC.
4. Susun *source code* pada aplikasi PSoC Creator pada laptop sesuai dengan *flowchart* pada modul.
5. *Upload source code* ke PSoC sampai berhasil menggunakan laptop.
6. Siapkan *source code* untuk menerima dan menyimpan data dari UART PSoC dalam berkas .txt/.csv pada laptop.
7. Lakukan pengukuran sebagaimana langkah 8–10 pada Percobaan 1 dengan hanya menggunakan satu sumber getaran kontak.
8. Variasikan resolusi ADC 8, 10, dan 12 bit, lalu bandingkan hasilnya.

Percobaan 3:

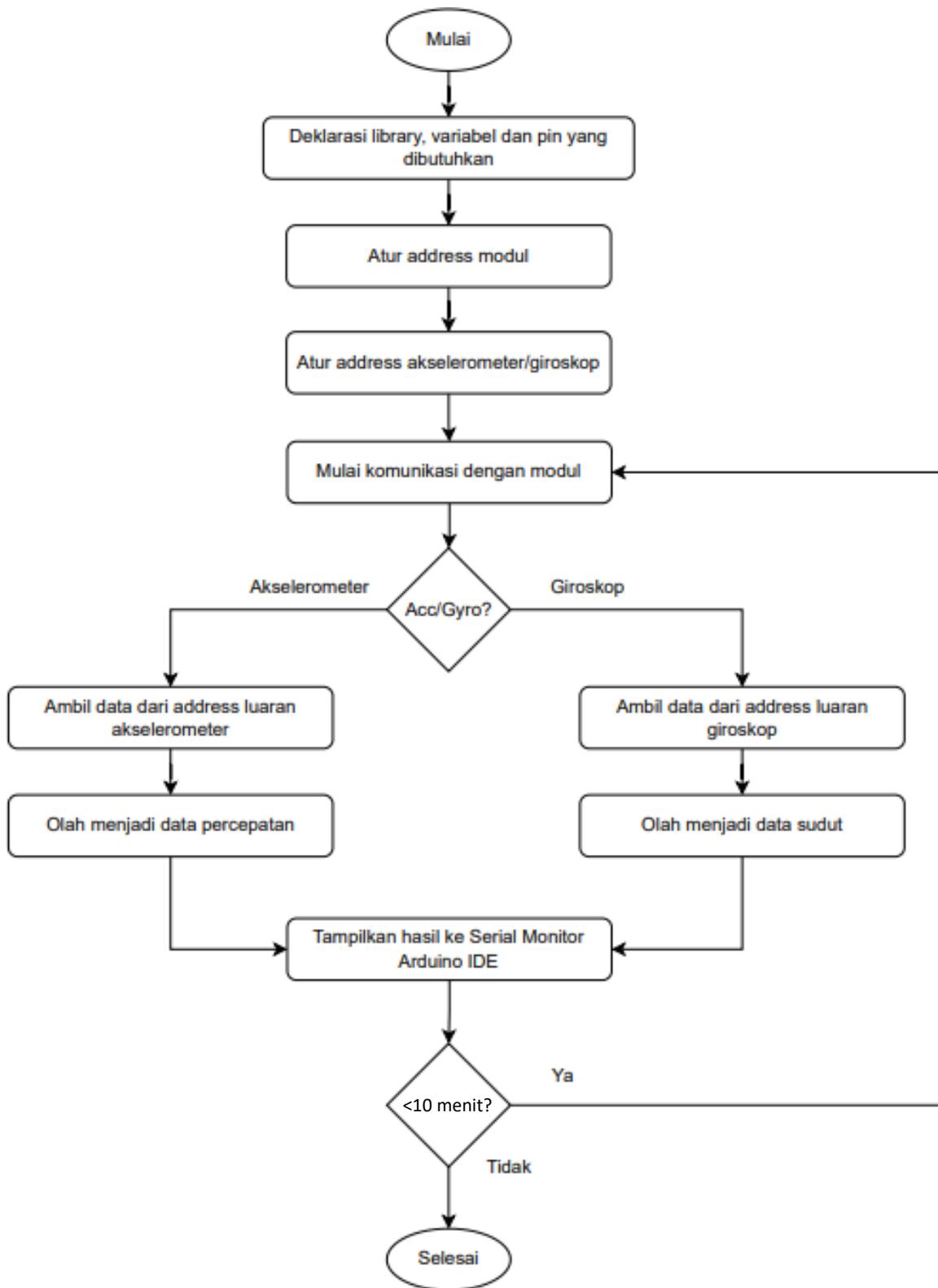
1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Susun rangkaian MPU6050 pada Raspberry Pi sesuai modul.
3. Susun *source code* menggunakan bahasa Python sesuai dengan *flowchart* pada modul.
4. *Upload source code* ke Raspberry Pi sampai berhasil menggunakan laptop.
5. Lakukan pengukuran sebagaimana langkah 8–10 pada Percobaan 1 dengan hanya menggunakan satu sumber getaran kontak.



Gambar IV.10. Diagram alir sensor kondenser dan piezoelektrik



Gambar IV.11. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan PSoC dan Arduino



Gambar IV.12. Diagram alir sensor MPU-6050 dengan Raspberry Pi

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.11. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-03.01

Piezoelektrik				Kondenser			
Bor - udara	Bor - padat	Subwoofer - udara	Subwoofer - padat	Bor - udara	Bor - padat	Subwoofer - udara	Subwoofer - padat

Akselerometer						Giroskop											
Bor - udara		Bor - padat		Subwoofer - udara	Subwoofer - padat	Bor - udara		Bor - padat		Subwoofer - udara	Subwoofer - padat						
x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z

Tabel IV.12. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-03.02

Piezoelektrik			Kondenser		
8-bit	10-bit	12-bit	8-bit	10-bit	12-bit

Tabel IV.13. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-03.03

Akselerometer			Giroskop		
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 untuk memperoleh frekuensi getaran masukan. (Petunjuk: *Fast Fourier Transform* dan *Power Spectral Density*).

D. Modul PSI-04: Sistem Sensor Kadar Gas

i. Alat dan Bahan

Tabel IV.14. Alat dan bahan Modul PSI-04

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	<i>Project Board</i>	1
3.	Kabel Jumper	Secukupnya
4.	Arduino	2
5.	PSoC 5LP	1
6.	Raspberry Pi 3B	1
7.	Laptop	1
8.	Resistor 10K	4
9.	Resistor 1K	4
10.	TGS822	4
11.	TGS2611	4
12.	MQ6	4
13.	MH-Z19	4
14.	Tabung Gas Kompor <i>Portable</i>	1
15.	Korek Gas	1
16.	Alkohol Medis	1
17.	Kapas	1
18.	Larutan cuka dan <i>baking soda</i>	1

ii. Prosedur Praktikum Pengambilan data

Percobaan 1

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Rangkai sensor TGS822, TGS2611 dan MQ6 dengan Arduino.
3. Hubungkan pin *output* analog sensor TGS2611, TGS822, dan MQ6 dengan pin Arduino yang siap menerima masukan analog.
4. Rangkai sensor MH-Z19 dengan Arduino lainnya.
5. Hubungkan pin RX/TX sensor MH- Z19 dengan pin RX/TX Arduino.
6. Siapkan program Arduino 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 (kecuali pada rangkaian dengan MH-Z19 berikan *delay* 2 detik).
7. Siapkan program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari Arduino ke laptop melalui

- protokol UART, data yang tersimpan berupa berkas txt/csv.
8. Siapkan 1 gas *chamber* untuk percobaan sensor TGS2611, TGS822, dan MQ2 serta 1 gas *chamber* lainnya untuk percobaan sensor MH-Z19.
 9. 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
 - Pastikan penyumbat menutup rapat gas *chamber* tanpa ada celah.
 - Buka tutup gas *chamber* dan arahkan *nozzle* korek api ke dalam gas *chamber*
 - Semprotkan korek api ke dalam gas *chamber* selama 20 detik.
 - Tutup kembali gas *chamber* dan tunggu selama 20 detik
 - Larutan cuka dan *baking soda*
 - Pastikan penyumbat menutup rapat gas *chamber* tanpa ada celah.
 - Buka tutup gas *chamber* dan campurkan larutan cuka dan *baking soda* ke dalam gas *chamber*.
 - Tutup kembali gas *chamber* dengan tutup yang sudah disertai sensor.
 - 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 tercium bau (untuk LPG).
 - Kapas yang sudah basah tersebut diletakkan pada gas *chamber* lalu tutup gas *chamber* dengan rapat dan tunggu selama 20 detik
 10. Jalankan program untuk akuisisi data selama 10 detik dan simpan dalam berkas .txt/.csv.
 11. Setelah 10 detik, selagi program masih berjalan lakukan pengambilan data stimulus dengan mengganti penyumbat *chamber* dengan penyumbat yang sudah disertai sensor.
 12. Data yang perlu diambil adalah sebagai berikut:
 - TGS822, TGS2611 dan MQ6 minimal diambil datanya selama 15 menit untuk setiap stimulus pada Arduino.
 - MH-Z19 diambil datanya selama 5 menit untuk stimulus larutan cuka dan *baking soda*.

Percobaan 2

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Rangkai sensor MH-Z19 dengan PSoC.
3. Hubungkan pin RX/TX sensor MH-Z19 dengan pin RX/TX PSoC.
4. Gunakan blok *timer* untuk membaca keluaran PWM dan blok UART untuk membaca keluaran sensor MH-Z19
5. Siapkan program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari PSoC ke laptop melalui protokol UART, data yang tersimpan berupa berkas txt/csv.

6. Siapkan gas *chamber* untuk percobaan sensor MH-Z19.
7. Siapkan stimulus untuk gas *chamber* menggunakan larutan cuka dan *baking soda* seperti pada langkah 9 percobaan 1.
8. Ambil data sensor MH-Z19 selama 5 menit untuk stimulus *larutan cuka dan baking soda*.
9. Bandingkan hasil keluaran MH-Z19 dengan menggunakan PWM dan UART.

Percobaan 3

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Rangkai sensor MH-Z19 dengan Raspberry Pi.
3. Hubungkan pin RX/TX sensor MH-Z19 dengan pin RX/TX Raspberry Pi.
4. Siapkan program untuk mengakuisisi dan menyimpan data dari sensor ke dalam berkas txt/csv.

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.15. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-04.01

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 respons sensor.
3. Data yang diolah disesuaikan sumbu X pada kurva respons sensor menjadi waktu dan sumbu Y pada kurva respons 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.

Tabel IV.16. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-04.02

No.	PWM	UART
1.		
2.		
3.		
:		
10000.		

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

i. Alat dan Bahan

Tabel IV.17. Alat dan bahan Modul PSI-05

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	<i>Project Board</i>	1
3.	Kabel Jumper	Secukupnya
4.	Arduino	1
5.	PSoC 5LP	1
6.	Raspberry Pi 3B	1
7.	Laptop	1
8.	LM35	4
9.	Resistor 4,7 kΩ	4
10.	DHT22	4
11.	SHT20	4
12.	DS18B20	4
13.	<i>Thermocouple tipe K</i>	4
14.	MAX6675	4
15.	Solder	1
16.	<i>Thermogun</i>	2

ii. Prosedur Praktikum

Percobaan 1

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan kaki Vcc LM35 pada sumber tegangan 5V, kaki *ground* ke *ground*, dan kaki *output* ke multimeter.
3. Panaskan solder dan dekatkan ke sensor dengan jarak 15 cm.
4. Akuisisi data dilakukan sejak solder dinyalakan hingga suhu solder mencapai 200 °C.
5. Gunakan *thermogun* untuk mengukur suhu solder.
6. Gunakan *thermogun* lain unutk mengukur suhu di area depan LM35.
7. Catat hasil bacaan pada *thermogun* kedua dan multimeter secara bersamaan setiap 1 detik.
8. Buat persamaan konversi dari tegangan menjadi suhu untuk pembacaan LM35.
9. Buat plot grafik tegangan terhadap suhu.

Percobaan 2

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan sebuah sensor LM35 pada Arduino dengan konfigurasi pin sebagai berikut.

LM35	Arduino
vcc	5v
gnd	gnd
out	A0

3. Hubungkan sebuah sensor LM35 pada PSoC dengan konfigurasi pin sebagai berikut.

LM35	PSoC
vcc	vcc
gnd	vdd
out	Analog In

4. Gunakan kode sumber untuk membaca nilai tegangan (dalam mV) dari sensor melalui konversi dari nilai ADC pada PSoC dan Arduino.
5. Masukkan persamaan konversi dari tegangan menjadi suhu sesuai dengan hasil percobaan 1.
6. Variasikan resolusi dari ADC pada PSoC sesuai tabel pengamatan.
7. Beri jeda 1 detik untuk setiap proses pengiriman data.
8. 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.
9. Panaskan solder dan dekatkan kedua sensor pada solder dengan jarak 15 cm.
10. Akuisisi data dilakukan sejak solder dinyalakan hingga suhu solder mencapai 200 °C.
11. Gunakan *thermogun* untuk mengukur suhu solder.
12. Gunakan *thermogun* lain untuk mengukur suhu di area depan LM35.
13. Catat hasil bacaan pada *thermogun* kedua setiap 1 detik.
14. Bandingkan hasil pengukuran suhu antar sensor yang menggunakan Arduino dan PSoC dengan hasil bacaan *thermogun*.
15. Bandingkan linearitas dan akurasi data antar sensor tersebut di setiap variasi resolusi ADC (khusus PSoC).

Percobaan 3

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan LM35, SHT20, DHT22, DS18B20, dan *Thermocouple* tipe K + MAX6675 ke sebuah Arduino dengan konfigurasi pin seperti berikut.

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

3. Siapkan program untuk mengakuisisi data seluruh sensor secara bersamaan dan mengirimkannya dari Arduino ke laptop melalui protokol UART (disarankan menggunakan bahasa pemrograman Python) data luaran dari program berupa berkas txt/csv.
4. Lakukan langkah percobaan yang sama dengan percobaan 1 menggunakan solder dan *thermogun*.
5. Amati linearitas dan akurasi dari data suhu dari masing-masing sensor.
6. Amati juga linearitas, akurasi, dan tentukan apakah data kelembaban dari SHT20 dan DHT22 presisi atau tidak selama pengukuran.

Percobaan 4

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan SHT20, DHT22, DS18B20, dan *Thermocouple* tipe K + MAX6675 ke sebuah Raspberry Pi.
3. Lakukan akuisisi data seluruh sensor secara bersamaan menggunakan Raspberry Pi.
4. Lakukan langkah percobaan yang sama dengan percobaan 1 menggunakan solder dan *thermogun*.
5. Amati linearitas dan akurasi dari data suhu dan kelembapan masing-masing dari sensor.
6. Amati juga linearitas, akurasi, dan tentukan apakah data kelembaban dari SHT20 dan DHT22 presisi atau tidak selama pengukuran.

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.18. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.01

No.	Suhu dari <i>thermogun</i> (°C)	Tegangan (mV)

Tabel IV.19. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.02

Suhu yang terbaca setelah konversi (Arduino) (°C)	Suhu yang terbaca setelah konversi (PSoC) (°C)			Suhu dari <i>thermogun</i> (°C)
	Resolusi ADC			
	8-bit	10-bit	12-bit	

Tabel IV.20. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.03 (suhu)

LM35 (°C)	SHT20 (°C)	DHT22 (°C)	DS18B20 (°C)	Thermocouple tipe K (°C)	Suhu dari <i>thermogun</i> (°C)

Tabel IV.21. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.03 (kelembapan)

SHT20 (%RH)	DHT22 (%RH)

Tabel IV.22. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.04 (suhu)

SHT20 (°C)	DHT22 (°C)	DS18B20 (°C)	Thermocouple tipe K (°C)	Suhu dari <i>thermogun</i> (°C)

Tabel IV.23. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-05.04 (kelembapan)

SHT20 (%RH)	DHT22 (%RH)

F. Modul PSI-06: Sistem Sensor Gelombang Cahaya

i. Alat dan Bahan

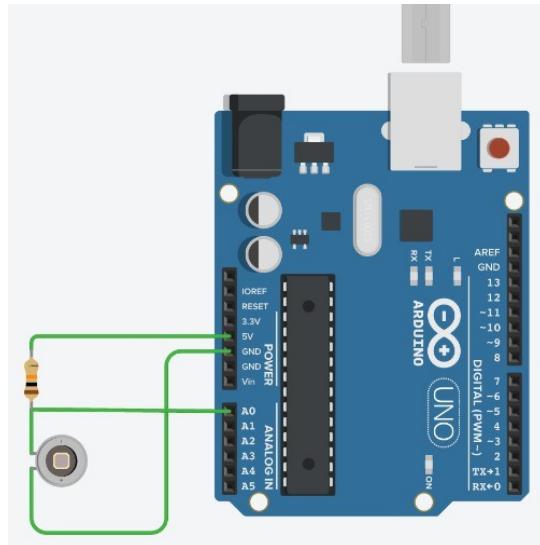
Tabel IV.24. Alat dan bahan Modul PSI-06

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	<i>Project Board</i>	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.	<i>Photodiode</i>	4
11.	PIR	4
12.	BH1750	4
13.	Senter	1

ii. Prosedur Praktikum

Percobaan 1

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Susun rangkaian seperti pada **Error! Reference source not found..**
3. Susun rangkaian yang sama dengan mengganti *photodiode* menjadi LDR menggunakan Arduino yang sama.
4. Susun *source code* untuk menampilkan bacaan nilai analog dari keluaran rangkaian *photodiode* dan LDR pada Arduino.
5. *Upload source code* ke Arduino.
6. Buat program untuk menerima dan menyimpan data dari serial dalam berkas .txt/.csv pada laptop.
7. Nyalakan senter dan arahkan ke kedua sensor.
8. Tutupi kedua sensor sehingga terhalang dari cahaya.
9. Tukar posisi dari sensor dan resistor 10 kΩ dan lakukan langkah 5-8.



Gambar IV.13. Rangkaian photodiode pada Arduino

Percobaan 2

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Susun rangkaian yang sama dengan percobaan 1 dan sambungkan ke PSoC.
3. Susunlah program yang sesuai pada aplikasi PSoC Creator.
4. Implementasikan blok pengiriman data bacaan sensor dengan protokol UART.
5. *Build source code* ke PSoC.
6. Ulangi langkah 6-8 pada percobaan 1.
7. Variasikan resolusi ADC 10 dan 12 bit.

Percobaan 3

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan kaki Vcc sensor PIR ke sumber tegangan 5V, kaki *ground* ke *ground*, dan kaki *output* ke multimeter.
3. Dekatkan tangan (atau benda apa pun) pada sensor PIR pada jarak yang berbeda.
4. Catat tegangan yang terbaca pada multimeter.

Percobaan 4

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Sambungkan pin VCC dari BH1750 ke pin 3,3V dari Arduino.
3. Sambungkan pin GND dari BH1750 ke pin GND dari Arduino.
4. Sambungkan pin SDA dari BH1750 ke pin A4 dari Arduino.
5. Sambungkan pin SCL dari BH1750 ke pin A5 dari Arduino.
6. Sambungkan pin ADDR dari BH1750 ke pin GND dari Arduino.
7. 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();
}
void loop() {
float lux = lightMeter.readLightLevel(true);
Serial.print("Light: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lx");
delay(2000);
}

```

8. Nyalakan senter dan arahkan ke kedua sensor.
9. Tutupi sensor sehingga terhalang dari cahaya.
10. Simpan data pada berkas .txt/.csv.

Percobaan 5

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Atur Raspberry Pi agar dapat berkomunikasi dengan I2C.
3. Sambungkan pin VCC dari BH1750 ke pin P1-01 dari Raspberry Pi.
4. Sambungkan pin GND dari BH1750 ke pin P1-14 dari Raspberry Pi.
5. Sambungkan pin SDA dari BH1750 ke pin P1-03 dari Raspberry Pi.
6. Sambungkan pin SCL dari BH1750 ke pin P1-05 dari Raspberry Pi.
7. Sambungkan pin ADDR dari BH1750 ke pin P1-14 dari Raspberry Pi.
8. Susun *source code* pada Raspberry Pi untuk menampilkan hasil bacaan sensor.
9. Nyalakan senter dan arahkan ke sensor.
10. Tutupi sensor sehingga terhalang dari cahaya.
11. Simpan data pada berkas .txt/.csv.

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.25. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.01

Kondisi cahaya	Tegangan keluaran			
	Photodiode - Resistor	LDR - Resistor	Resistor - Photodiode	Resistor - LDR

--	--	--	--

Tabel IV.26. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.02

Kondisi cahaya	Tegangan keluaran			
	Photodiode		LDR	
	10-bit	12-bit	10-bit	12-bit

Tabel IV.27. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.03

Jarak benda	Tegangan

Tabel IV.28. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-06.04 dan PSI-06.05

Arduino		Raspberry Pi	
Kondisi cahaya	Nilai Lux	Kondisi cahaya	Nilai Lux

G. Modul PSI-07: Sistem Sensor Tegangan dan Arus Listrik

i. Alat dan Bahan

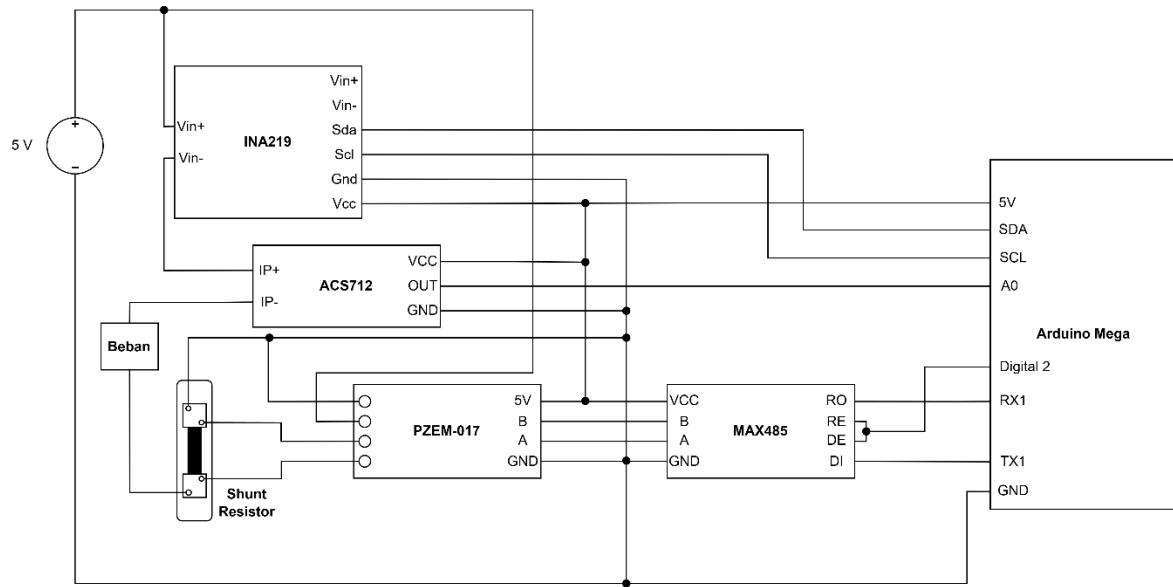
Tabel IV.29. Alat dan bahan Modul PSI-07

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	<i>Project board</i>	1
3.	Kabel <i>jumper</i>	Secukupnya
4.	Arduino Mega	1
5.	Raspberry Pi 3B	1
6.	Laptop	5
7.	PZEM-017	1
8.	<i>Shunt resistor 50 A/75 mV</i>	1
9.	INA219	1
10.	PZEM-004T-100A	1
11.	ACS712	1
12.	SCT-013-020	1
13.	MAX485	1
14.	USB-to-RS485 converter	1
15.	<i>Power supply 12V</i>	1
16.	LED putih	5
17.	Resistor 220 Ω	5
18.	Terminal listrik	1
19.	Resistor 100 k Ω	2
20.	Kapasitor 10 μF	1

ii. Prosedur Praktikum

Percobaan 1

1. Susun satu program untuk secara simultan membaca data sensor INA219 dan modul sensor PZEM-017 serta mengukur keluaran sensor ACS712 pada Arduino.
2. Susun satu program untuk menerima data dari Arduino dan menyimpannya pada sebuah file .txt atau .csv di laptop.
3. Susun rangkaian berikut di *project board* menggunakan sensor INA219, sensor ACS712, dan modul sensor PZEM-017.

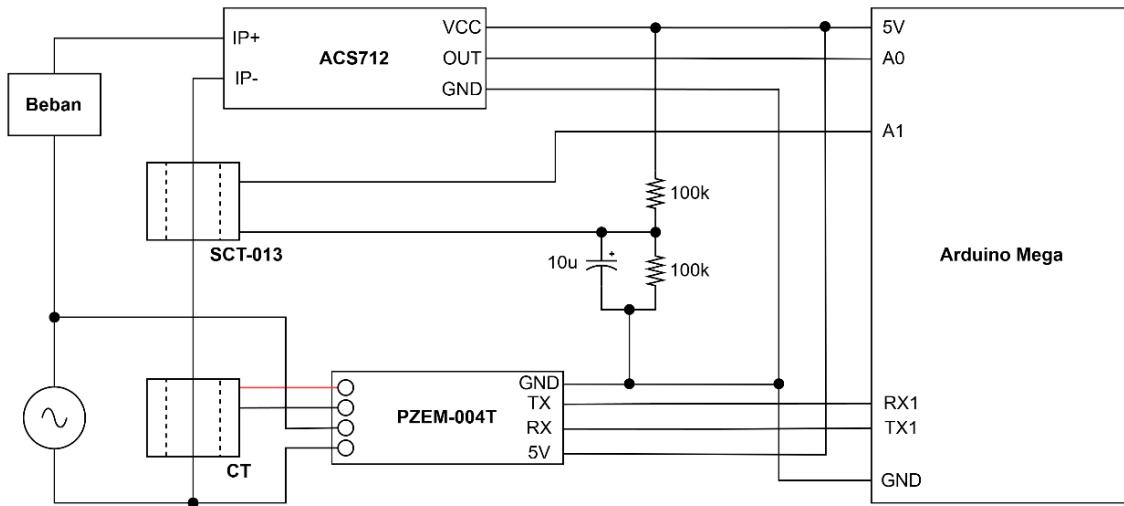


Gambar IV.14. Rangkaian percobaan PSI-07.01 dan PSI-07.03

4. Gunakan satu LED yang diseri dengan resistor $220\ \Omega$ sebagai beban.
5. Jalankan program yang telah disusun.
6. Tambahkan beban secara paralel dengan satu LED diseri dengan resistor $220\ \Omega$, lalu jalankan program kembali. Ulangi sampai jumlah LED pada rangkaian mencapai lima.
7. Buat kurva kalibrasi untuk sensor INA219 dan ACS712 berdasarkan modul sensor PZEM-017. Persamaan kalibrasi akan digunakan untuk percobaan-percobaan berikutnya.
8. Bandingkan hasil dengan spesifikasi sensor di *datasheet* terkait.

Percobaan 2

1. Susun satu program untuk secara simultan membaca data modul sensor PZEM-004T serta mengukur keluaran sensor SCT-013 dan ACS712 pada Arduino.
2. Susun satu program untuk menerima data dari Arduino dan menyimpannya pada sebuah file .txt atau .csv di laptop.
3. Susun rangkaian berikut di *project board* menggunakan sensor SCT-013, sensor ACS712, dan modul sensor PZEM-004T.



Gambar IV.15. Rangkaian percobaan PSI-07.02 dan PSI-07.04

4. Gunakan terminal listrik yang terhubung dengan satu laptop sebagai beban. Pastikan baterai laptop belum penuh.
5. Jalankan program yang telah disusun.
6. Sambungkan laptop lain dengan terminal, lalu jalankan program kembali. Ulangi sampai jumlah laptop terhubung pada terminal mencapai lima.
7. Buat kurva kalibrasi untuk sensor SCT-013 dan ACS712 berdasarkan modul sensor PZEM-004T. Persamaan kalibrasi akan digunakan untuk percobaan-percobaan berikutnya.
8. Bandingkan hasil dengan spesifikasi sensor di *datasheet* terkait.

Percobaan 3

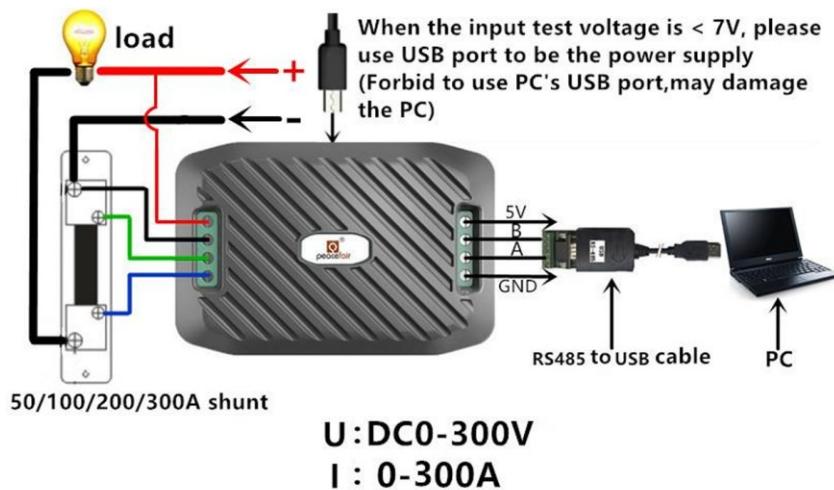
1. Susun satu program untuk secara simultan membaca data sensor INA219 dan modul sensor PZEM-017 serta mengukur keluaran sensor ACS712 pada Arduino.
2. Susun satu program untuk menerima data dari Arduino dan menyimpannya pada sebuah file .txt atau .csv di laptop.
3. Susun rangkaian pada percobaan 1 di *project board* menggunakan sensor INA219, sensor ACS712, dan modul sensor PZEM-017.
4. Gunakan satu LED yang diseri dengan resistor $220\ \Omega$ sebagai beban.
5. Jalankan program yang telah disusun.
6. Tambahkan beban secara paralel dengan satu LED diseri dengan resistor $220\ \Omega$, lalu jalankan program kembali. Ulangi sampai jumlah LED pada rangkaian mencapai lima.
7. Buat grafik perbandingan hasil pengukuran sensor INA219 dan ACS712 terhadap hasil pengukuran modul sensor PZEM-017 dan hasil teoretis berdasarkan perhitungan daya yang seharusnya dibutuhkan oleh rangkaian LED.
8. Analisis hasil yang didapat.

Percobaan 4

1. Susun satu program untuk secara simultan membaca data modul sensor PZEM-004T serta mengukur keluaran sensor SCT-013 dan ACS712 pada Arduino.
2. Susun satu program untuk menerima data dari Arduino dan menyimpannya pada sebuah file .txt atau .csv di laptop.
3. Susun rangkaian pada percobaan 2 di *project board* menggunakan sensor SCT-013, sensor ACS712, dan modul sensor PZEM-004T.
4. Gunakan terminal listrik yang terhubung dengan satu laptop sebagai beban. Pastikan baterai laptop belum penuh.
5. Jalankan program yang telah disusun.
6. Sambungkan laptop lain dengan terminal, lalu jalankan program kembali. Ulangi sampai jumlah laptop terhubung pada terminal mencapai lima.
7. Buat grafik perbandingan hasil pengukuran sensor SCT-013 dan ACS712 terhadap hasil pengukuran modul sensor PZEM-004T dan hasil teoretis berdasarkan spesifikasi laptop.
8. Analisis hasil yang didapat.

Percobaan 5

1. Susun program untuk membaca data pengukuran modul sensor PZEM-017 pada Raspberry Pi dan menyimpannya pada sebuah file .txt atau .csv.
2. Susun rangkaian berikut dengan beban satu LED diseri dengan resistor $220\ \Omega$.

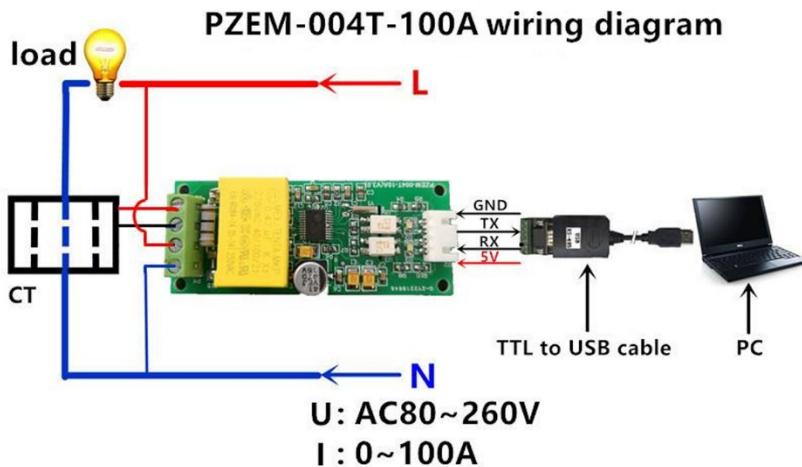


Gambar IV.16. Rangkaian percobaan PSI-07.05

3. Jalankan program yang telah disusun.
4. Tambahkan beban secara paralel dengan satu LED diseri dengan resistor $220\ \Omega$, lalu jalankan program kembali. Ulangi sampai jumlah LED pada rangkaian mencapai lima.
5. Olah data yang telah didapat.

Percobaan 6

1. Susun program untuk membaca data pengukuran modul sensor PZEM-004T pada Raspberry Pi dan menyimpannya pada sebuah file .txt atau .csv.
2. Susun rangkaian berikut dengan beban terminal listrik yang terhubung dengan satu laptop sebagai beban. Pastikan baterai laptop belum penuh.



Gambar IV.17. Rangkaian percobaan PSI-07.06

3. Jalankan program yang telah disusun.
4. Sambungkan laptop lain dengan terminal, lalu jalankan program kembali. Ulangi sampai jumlah laptop terhubung pada terminal mencapai lima.
5. Olah data yang telah didapat.

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.30. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.01

Kondisi	No.	Tegangan Sensor INA219	Pengukuran Arus ACS712	Pengukuran Arus PZEM-017
1 LED	1.			
	2.			
	...			
2 LED	1.			
	2.			
	...			
3 LED	1.			
	2.			
	...			
4 LED	1.			
	2.			

	...			
5 LED	1.			
	2.			
	...			

Tabel IV.31. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.02

Kondisi	No.	Tegangan Sensor SCT-013	Tegangan Sensor ACS712	Pengukuran Arus PZEM-004T
1 laptop	1.			
	2.			
	...			
2 laptop	1.			
	2.			
	...			
3 laptop	1.			
	2.			
	...			
4 laptop	1.			
	2.			
	...			
5 laptop	1.			
	2.			
	...			

Tabel IV.32. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.03

Kondisi	Tegangan Beban	No.	Pengukuran Arus ACS712	Pengukuran Daya ACS712	Pengukuran Daya INA219	Pengukuran Daya PZEM-017
1 LED		1.				
		2.				
		...				
2 LED		1.				
		2.				
		...				
3 LED		1.				
		2.				
		...				

4 LED		1.				
		2.				
		...				
5 LED		1.				
		2.				
		...				

Tabel IV.33. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.04

Kondisi	Tegangan Beban	No.	Pengukuran Arus SCT-013	Pengukuran Daya SCT-013	Pengukuran Arus ACS712	Pengukuran Daya ACS712	Pengukuran Daya PZEM-017
1 Laptop		1.					
		2.					
		...					
2 Laptop		1.					
		2.					
		...					
3 Laptop		1.					
		2.					
		...					
4 Laptop		1.					
		2.					
		...					
5 Laptop		1.					
		2.					
		...					

Tabel IV.34. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.05

Kondisi	No.	Arus	Tegangan	Daya	Energi
1 LED	1.				
	2.				
	...				
2 LED	1.				
	2.				
	...				
3 LED	1.				
	2.				

	...				
4 LED	1.				
	2.				
	...				
5 LED	1.				
	2.				
	...				

Tabel IV.35. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-07.06

Kondisi	No.	Arus	Tegangan	Daya Aktif	Faktor Daya	Frekuensi	Energi Aktif
1 Laptop	1.						
	2.						
	...						
2 Laptop	1.						
	2.						
	...						
3 Laptop	1.						
	2.						
	...						
4 Laptop							
5 Laptop							

H. Modul PSI-08: Sistem Aktuator: Motor *Servo*, Motor *Stepper*, Motor DC, dan *Relay*

i. Alat dan Bahan

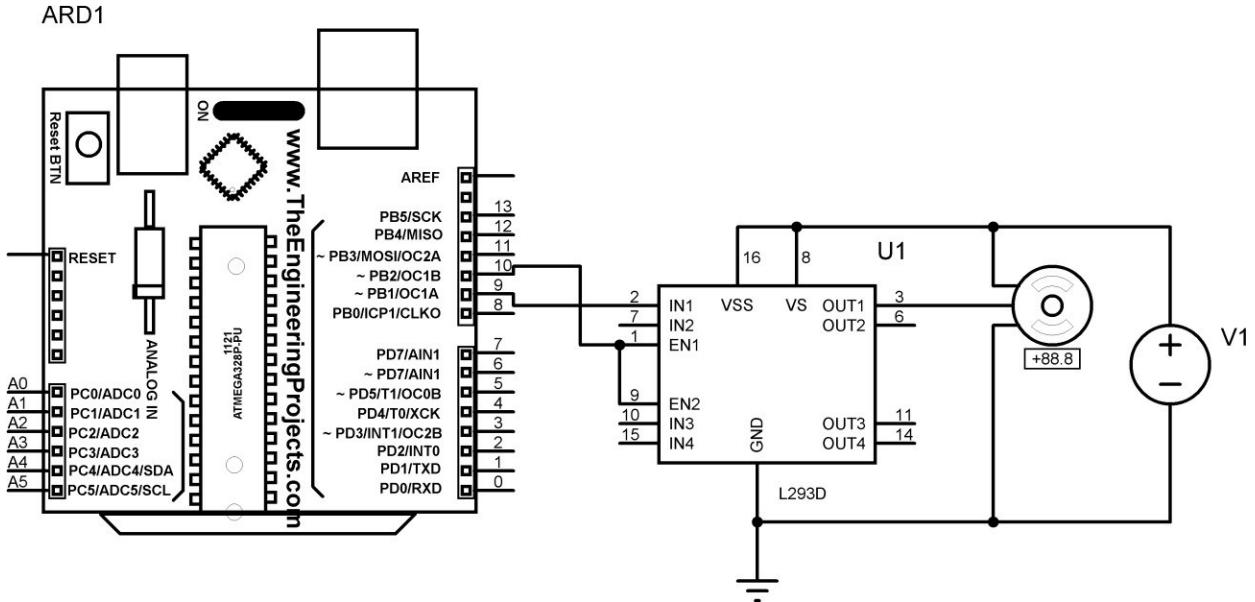
Tabel IV.36. Alat dan bahan Modul PSI-08

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Multimeter	1
2.	<i>Project Board</i>	1
3.	Kabel <i>Jumper</i>	Secukupnya
4.	Arduino	1
5.	PSoC 5LP	1
6.	Raspberry Pi 3B	1
7.	Laptop	1
8.	Motor <i>Servo</i>	4
9.	Motor <i>Stepper</i>	4
10.	Motor DC	4
11.	IC L293D	4
12.	IC L298N	4
13.	Relay	4
14.	Transistor 2N3904	4
15.	P-MOSFET IRF540	4
16.	Potensiometer 50kΩ	4
17.	<i>Power Supply</i> 12V	1

ii. Prosedur Praktikum

Percobaan 1

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buat rangkaian pengendali motor *servo* sederhana menggunakan Arduino UNO. berdasarkan Gambar IV.18.



Gambar IV.18. Rangkaian percobaan PSI-08.01

3. Sambungkan pin *power 1* pada *driver* L293D pada sumber tegangan dari Arduino UNO.
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.
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. 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);
}

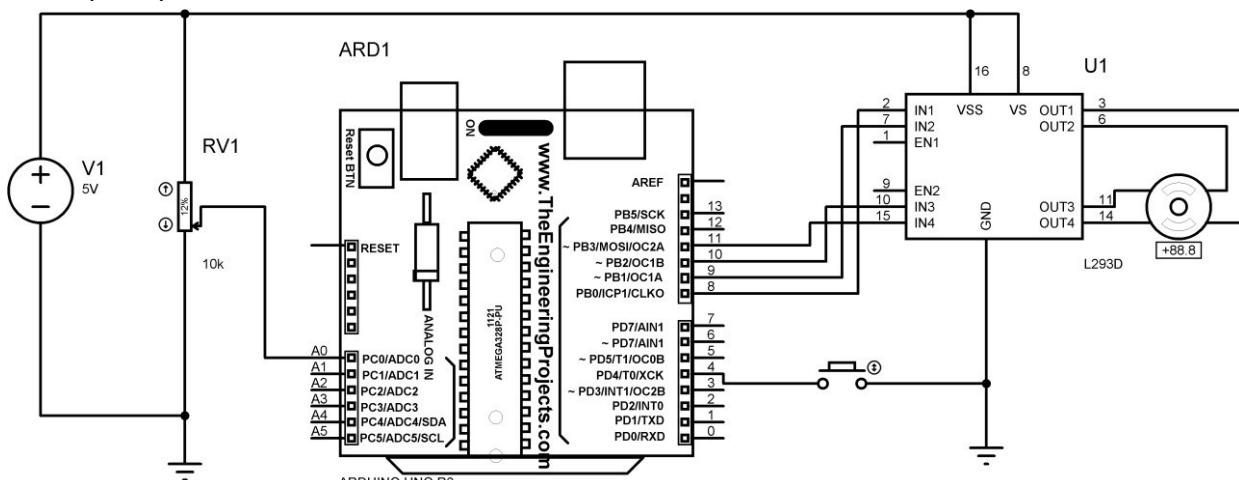
void loop() {
    for (pos = 0; posisi <= 180; pos += 1) {
        myservo.write(posisi);
        delay(50000);
    }
    for (pos = 180; posisi >= 0; pos -= 1) {
        myservo.write(posisi);
        delay(100000);
    }
}

```

10. Amati dan catat pergerakan arah putaran motor *servo* pada tabel 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 *microcontroller* menjadi PSoC dan Raspberry Pi, silakan buat kode program untuk PSoC dan Raspberry Pi dengan keadaan, parameter dan variabel yang sama seperti pada Arduino Uno.

Percobaan 2

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buat rangkaian pengendali motor *stepper bipolar* menggunakan *microcontroller* Arduino Uno seperti pada Gambar IV.19.



Gambar IV.19. Rangkaian percobaan PSI-08.02

3. Sambungkan Pin 1, 9, dan 16 IC *driver* L293D dengan sumber tegangan 5V dari Arduino Uno.
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.
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 yang sudah sesuai dengan tuntutan rancangan pada Arduino Uno untuk percobaan. Berikut ini adalah referensi yang dapat digunakan sebagai kode program Arduino Uno.

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

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

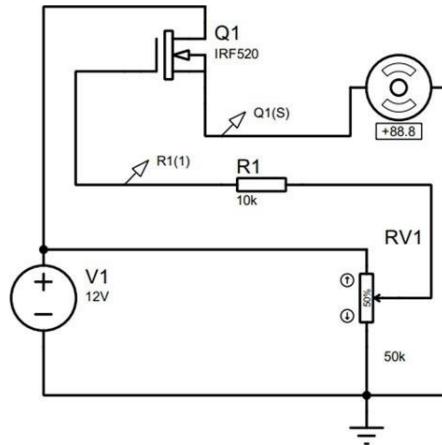
void setup() {
  pinMode(button, INPUT_PULLDOWN);
}

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;
}
```

- Amati dan catat pada tabel hasil pengamatan.
- Ulangi langkah 1 s.d 9 dengan mengubah *microcontroller* menjadi PSoC dan Raspberry Pi, silakan buat kode program untuk PSoC dan Raspberry Pi dengan keadaan, parameter dan variabel yang sama seperti pada Arduino Uno.

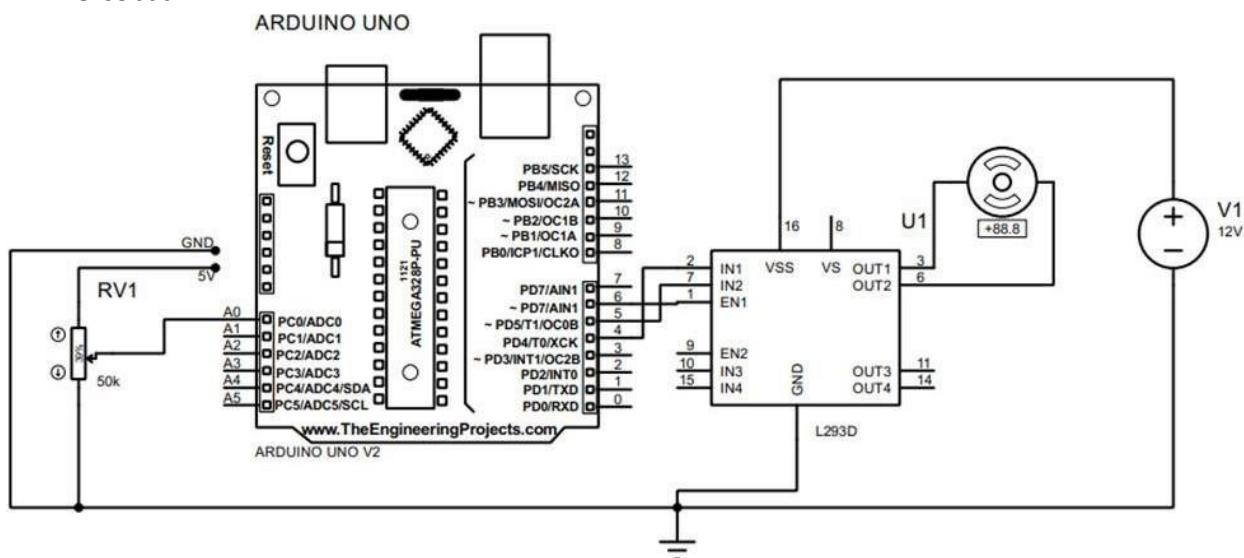
Percobaan 3



Gambar IV.20. Rangkaian percobaan PSI-08.03

- Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
- Buat rangkaian pengendali motor DC pada *project board* seperti pada Gambar IV.20.
- Variasikan nilai potensiometer dengan memutar roda pada potensiometer.
- Catat hasil percobaan pada tabel pengamatan.
- Ulangi langkah yang sama dengan mengganti MOSFET IRF540 menggunakan BJT 2N3904 sebagai pengendali aktuator.

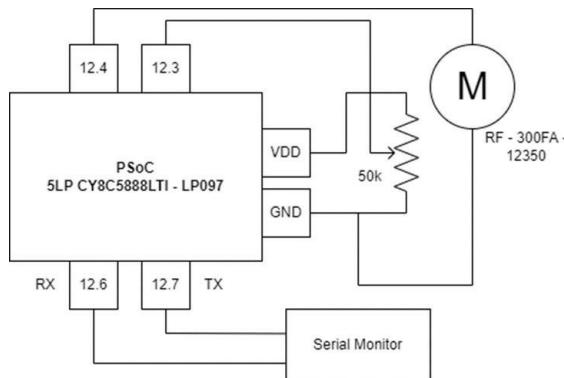
Percobaan 4



Gambar IV.21. Rangkaian percobaan PSI-08.04

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buat rangkaian pengendali motor DC seperti pada Gambar IV.21.
3. Buat program pada Arduino IDE sehingga tegangan keluaran potensiometer menjadi acuan *duty cycle* dari sinyal PWM yang dihasilkan sebagai masukan motor DC.
4. Catat hasil percobaan pada tabel pengamatan.

Percobaan 5



Gambar IV.22. Rangkaian percobaan PSI-08.05

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buat rangkaian pengendali motor DC seperti pada Gambar IV.22.
3. Buat program pada PSoC Creator sehingga tegangan keluaran potensiometer menjadi acuan *duty cycle* dari sinyal PWM yang dihasilkan sebagai masukan motor DC.
4. Catat hasil percobaan pada tabel pengamatan.

Percobaan 6

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Buat rangkaian pengendali motor DC pada Raspberry Pi dengan ketentuan seperti pada PSoC.
3. Buatlah program dengan menggunakan bahasa pemrograman Python berdasarkan pada algoritma yang sama seperti pada PsoC
4. Catat hasil percobaan pada tabel pengamatan.

Percobaan 7

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Hubungkan pin *relay* dengan Arduino seperti berikut.

Arduino	Relay
Vcc	Vcc
Gnd	Gnd
D2	In

3. Sambungkan *output* dari *relay* pada sebuah rangkaian LED sebagai *switching*.

4. Siapkan kode sumber pada arduino untuk mengendalikan kondisi *on/off relay*.
5. Variasikan kondisi awal dari rangkaian yang terhubung dengan *relay* (NO/NC).

iii. Tabel Pengamatan

Tabel IV.37. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.01

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						

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 IV.38. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.02

No.	Arduino		PSoC		Raspberry 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 arah putar 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 IV.39. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.03

MOSFET IRF540		BJT 23904	
Putaran Potensiometer	Kondisi Motor	Putaran Potensiometer	Kondisi Motor

Tabel IV.40. Tabel pengamatan hasil percobaan PSI-08.04, PSI-08.05, dan PSI-08.06

Arduino		PSoC		Raspberry Pi	
Nilai PWM	Kecepatan Rotasi	Nilai PWM	Kecepatan Rotasi	Nilai PWM	Kecepatan Rotasi

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*. in Fifth Edition. Springer International Publishing, 2016.
- [2] "What is a cpu and what is its function," Hubspire. [Online]. Available: <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] "SRF05 - Ultra-Sonic Ranger." SRF-05 datasheet.
- [6] Sharp, "Optoelectronic Device." Sharp GP2D12 datasheet.
- [7] C. Anisha, D. N. Devidas, dan V. K. N. Ekoskar, "Wireless Communication Using HC-05 Bluetooth Module Interfaced with Arduino," *IJSETR*, vol. 5, no. 4, Art. no. 4, 2016.
- [8] Adafruit Industries, "Force Sensitive Resistor (FSR)." FSR datasheet.
- [9] T. Agarwal, "Know about Force Sensing Resistor Technology," El-Pro-Cus. [Online]. Available: <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 Teknol.*, vol. 18, no. 3, Art. no. 3, 2015.
- [12] Neeraj Gupta, Suman, S. Yadav, "Electricity Generation Due to Vibration of Moving Vehicles Using Piezoelectric Effect," *Mater. Sci.*, 2014.
- [13] PI Ceramic, "Piezoelectric Ceramic Products." Piezoelectric datasheet.
- [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] Figaro, "TGS 822 - for the detection of Organic Solvent Vapors." TGS822 datasheet.
- [17] Sourav Gupta, "Gas Detection and PPM Measurement using PIC Microcontroller and MQ Gas Sensors," Circuit Digest. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/gas-detection-and-ppm-measurement-using-pic-microcontroller-and-mq-gas-sensor>
- [18] Winsen, "Intelligent Infrared CO2 Module." MH-Z19 datasheet.
- [19] oktaf.ad, "Sensor LM 35," Menara Ilmu Mikrokontroller Universitas Gadjah Mada. [Online]. Available: <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] Dallas Semiconductor, "Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer." DS18B20 datasheet.
- [22] Gita Krisdayanes, "Penggunaan Thermocouple Type K pada Oven Pemanggang Kue sebagai Sensor Temperatur berbasis Mikrokontroler ATmega328," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2019.

- [23] Sensirion, "Humidity and Temperature Sensor IC." SHT20 datasheet.
- [24] RS Components, "Light dependent resistors." LDR datasheet.
- [25] Adafruit Industries, "PIR Motion Sensor." PIR datasheet.
- [26] ROHM Semiconductor, "Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC." BH1750FVI datasheet.
- [27] EKT, "Arduino Sensor Ultra Violet." UVM30A datasheet.
- [28] Peacefair, "PZEM-003/017 DC communication module." PZEM-003/017 datasheet. Accessed: Dec. 28, 2024.
- [29] Texas Instrument, "INA219 Zerø-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I2C Interface." INA219 datasheet.
- [30] Adafruit Industries, "Adafruit INA219 Current Sensor Breakout." INA219B breakout board datasheet.
- [31] Peacefair, "PZEM-004T V3.0 User Manual." PZEM-004T datasheet.
- [32] S. Perera and S. Elphick, "Chapter 8 - Power quality monitoring, data analysis and reporting," in *Applied Power Quality*, S. Perera and S. Elphick, Eds., Elsevier, 2023, pp. 259–313. doi: 10.1016/B978-0-323-85467-2.00005-6.
- [33] F. G. Turnbull and O. Pauk, "14 - Power Electronics—Rectifiers, Filters, and Power Supplies," in *Reference Data for Engineers (Ninth Edition)*, W. M. Middleton and M. E. Van Valkenburg, Eds., Woburn: Newnes, 2002, pp. 14–1. doi: 10.1016/B978-075067291-7/50016-9.
- [34] Mabuchi Motor, "RF-300FA." RF-300FA.
- [35] Dejan, "How to Control Servo Motors with Arduino - Complete Guide," How To Mechatronics. Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>
- [36] R. Rinaldy, R. F. Christianti, and D. Supriyadi, "Pengendalian Motor Servo Yang Terintegrasi Dengan Webcam Berbasis Internet Dan Arduino," *J. INFOTEL*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2013, doi: 10.20895/infotel.v5i2.4.
- [37] U. Latifa and J. S. Saputro, "PERANCANGAN ROBOT ARM GRIPPER BERBASIS ARDUINO UNO MENGGUNAKAN ANTARMUKA LABVIEW," *Barometer*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2018, doi: 10.35261/barometer.v3i2.1395.
- [38] "28BYJ-48 - 5V Stepper Motor," Components101. Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://components101.com/motors/28byj-48-stepper-motor>
- [39] "V Mengenal Motor Stepper : Pengertian, Cara Kerja dan Jenisnya - Andalan Elektro." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.andalanelektro.id/2021/01/mengenal-motor-stepper.html>
- [40] "Stepper Motors: Types, Uses and Working Principle | Article | MPS." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.monolithicpower.com/en/learning/resources/stepper-motors-basics-types-uses>
- [41] "Motor Stepper, Jenis, Fungsi, Cara Kerja - TPTUMETRO." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.tptumetro.com/2021/09/motor-stepper-jenis-fungsi-cara-kerja.html>
- [42] HuaNing Motor, "Stepping Motor." 28BYJ48 datasheet.
- [43] "Stepper Motor NEMA Sizes." Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available:

- <http://techref.massmind.org/techref/io/stepper/nemasizes.htm>
- [44] D. Kho, "Pengertian Relay dan Fungsi Relay," Teknik Elektronika. Accessed: Mar. 12, 2023. [Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>
 - [45] R. abadi, "Relay: Pengertian, Fungsi, Gambar Simbol, Cara Kerja, Jenis." Accessed: Mar. 12, 2023. [Online]. Available: <https://thecityfoundry.com/relay/>
 - [46] S. A. Ginzburg, I. I. A. Lekhtman, and V. S. Malov, *Fundamentals of Automation and Remote Control.* in International Series of Monographs in the Science of the Solid State. Pergamon Press, 1966.
 - [47] Arduino, "Arduino UNO R3." Arduino UNO R3 datasheet.
 - [48] "PSoC® 5LP: CY8C58LP Family Datasheet Programmable System-on-Chip (PSoC®)," no. 001, Art. no. 001.
 - [49] Raspberry Pi, "Raspberry Pi 3 Model B+." Raspberry Pi 3 Model B+ datasheet.

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