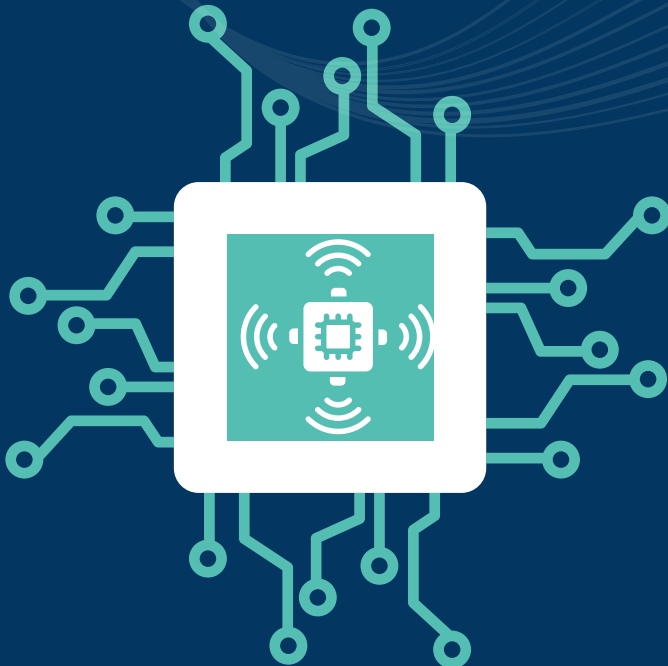


TEKNOLOGI TRANSDUSER

PENULIS :

**S Nurmuslimah, Mohamad Rifal, Fahmy Rinanda Saputri
Rismen Sinambela, Desak Ketut Sutiari, Usman Umar
La Ode Hasnuddin S. Sagala, Zainal Abidin
Dwi Sasmita Aji Pambudi, Muhammad Sainal Abidin**



TEKNOLOGI TRANSDUSER

**S Nurmuslimah
Mohamad Rifal
Fahmy Rinanda Saputri
Rismen Sinambela
Desak Ketut Sutiari
Usman Umar
La Ode Hasnuddin S. Sagala
Zainal Abidin
Dwi Sasmita Aji Pambudi
Muhammad Sainal Abidin**



GETPRESS INDONESIA

TEKNOLOGI TRANSDUSER

Penulis : S Nurmuslimah

Mohamad Rifal

Fahmy Rinanda Saputri

Rismen Sinambela

Desak Ketut Sutiar

Usman Umar

La Ode Hasnuddin S. Sagala

Zainal Abidin

Dwi Sasmita Aji Pambudi

Muhammad Sainal Abidin

ISBN :

Editor : Hendra Nusa Putra, S.Kom, M.Kom

Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan Judul Teknologi Transduser dapat diselesaikan dengan baik atas kerjasama tim penulis. Buku ini berisi mengenai dasar teknologi sensor, sensor resistif, sensor induktif, sensor kapasitif, piezoelektrik, sensor optik, aplikasi transduser yang terkait dengan sistem elektronik dalam bidang industri, smart sensor, jaringan sensor wireless.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Desember 2023
Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 DASAR TEKNOLOGI SENSOR	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Definisi Sensor.....	2
1.3 Klasifikasi Sensor	5
1.4 Klasifikasi Transduksi.....	6
1.5 Besaran Masukan	7
1.6 Klasifikasi Berdasarkan Aplikasi	7
1.7 Aspek Teknologi	8
1.8 Karakteristik Sensor	10
1.9 Sensor Sebagai Sistem Fisis	11
1.10 Karakteristik Statik Sensor.....	13
1.11 Karakteristik Dinamik Sensor	19
1.12 Karakteristik Utama Sensor	21
DAFTAR PUSTAKA	30
BAB 2 SENSOR RESISTIF	33
2.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Resistansi/ Hambatan	33
2.2 Beberapa Sensor Resistif	34
DAFTAR PUSTAKA	44
BAB 3 SENSOR INDUKTIF	45
3.1 Pendahuluan	45
3.2 Prinsip Induktif.....	46
3.3 Struktur Sensor.....	56
3.4 Pertimbangan Desain	58
3.5 Aplikasi Sensor Induktif.....	60
3.5 Keuntungan dan Kelemahan	64
3.6 Kesimpulan.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68
BAB 4 SENSOR KAPASITIF.....	69
4.1 Pendahuluan	69
4.2 Aplikasi Sensor kapasitif.....	70
4.3 Cara kerja Sensor kapasitif	73
4.4 Besaran Kapasitansi.....	74
4.5 Fungsi Kapasitor.....	78

4.6 Medan Kapasitor	79
4.7 Aplikasi Sensor Kapasitif	82
DAFTAR PUSTAKA.....	91
BAB 5 PIEZOELELTRIC.....	93
5.1 Pendahuluan	93
5.2 Efek Piezoelektric	94
5.3 Aplikasi Piezoelektic.....	102
DAFTAR PUSTAKA.....	109
BAB 6 SENSOR OPTIK.....	111
6.1 Pendahuluan	111
6.2 Pengertian Sensor Optik	112
6.3 Aplikasi Sensor Optik	120
6.4 Sensor Near Infrared (NIR).....	126
DAFTAR PUSTAKA.....	135
BAB 7 APLIKASI TRANSDUSER YANG TERKAIT DENGAN SISTEM ELEKTRONIK DALAM BIDANG INDUSTRI	139
7.1 Sensor dan Transduser.....	139
7.2 Transduser di Industri.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	146
BAB 8 BIOSENSOR	149
8.1 Pendahuluan	149
8.2 Prinsip Biosensor	152
8.3 Tipe Biosensor	154
8.4. Aplikasi Biosensor	164
8.5 Penutup.....	166
DAFTAR PUSTAKA.....	167
BAB 9 SMART SENSOR	169
9.1 Pendahuluan	169
9.2 Prinsip Dasar Smart Sensor	170
9.3 Komponen Penyusun Smart Sensor	173
9.4 Proses Kalibrasi Smart Sensor	176
9.5 Kapabilitas Smart Sensor	177
9.6 Akurasi dan Linieritas Smart Sensor	178
9.7 Perbandingan Normal Sensor & Smart Sensor	179
9.8 Ragam Aplikasi Smart Sensor	183
9.9 Aplikasi Smart Sensor dalam Bidang Otomotif.....	185
9.10 Aplikasi Smart Sensor dalam Bidang Kesehatan.....	188
9.11 Aplikasi Smart Sensor dalam Bidang Kelautan.....	189
DAFTAR PUSTAKA.....	191

BAB 10 JARINGAN SENSOR WIRELESS.....195
10.1 Pendahuluan.....195
10.2 Topologi Jaringan Sensor Wireless196
10.3 Jenis-Jenis modul Sensor Wireless.....199
10.4 Board Arduino206
10.5 Aplikasi Jaringan Sensor Wireless.....207
DAFTAR PUSTAKA220
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Sensor dalam suatu bagian sistem pengukuran	2
Gambar 1. 2. Mikrofon kondensor sebagai sensor mengubah getaran suara menjadi perubahan nilai kapasitansi	3
Gambar 1. 3. <i>Earphone</i> sebagai actuator mengubah	4
Gambar 1. 4. Loudspeaker kumparan yang dapat	5
Gambar 1. 5. Sensor ketinggian air dalam	9
Gambar 1. 6. Sensor sebagai sebuah kanal informasi	12
Gambar 1. 7. Contoh perbedaan nilai dengan pendekatan	15
Gambar 1. 8. Gambaran visual deskripsi ketepatan dan ketelitian ...	17
Gambar 1. 9. Histerisis pada keluaran sensor	19
Gambar 1. 10. Tanggapan frekuensi sebuah sensor	21
Gambar 1. 11. Sensor pergeseran potensiometer dan	23
Gambar 1. 12. Sensor potensiometer gulungan kawat	24
Gambar 1. 13. Potensiometer gulungan kawat untuk	24
Gambar 1. 14. String potensiometer untuk sensor pergeseran linier	25
Gambar 1. 15. Pengubah signal untuk sensor pergeseran	28
Gambar 2. 1. LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>)	36
Gambar 2. 2. Piezoresistor	40
Gambar 2. 3. PotensioMeter	41
Gambar 2. 4. Sensor RTD	42
Gambar 3. 1. Solenoid atau kumparan	50
Gambar 3. 2. Contoh-contoh sensor dengan kumparan. Kumparan dengan geometri yang berubah (a), solenoid dengan inti yang bergerak (b), dua kumparan yang bergerak (c), dan kumparan mutual induktansi variabel (d)	54
Gambar 3. 3. Sensor Induktif norm switching distances, IO-Link 1150	57
Gambar 3. 4. Cara sensor proksimiti induksi mendeteksi logam	59
Gambar 3. 5. Teknologi Touch Screen	60
Gambar 3. 6. Pengisian baterai kendaraan listrik secara nirkabel	61
Gambar 3. 7. Aplikasi sensor induktif untuk lampu otomatis	62
Gambar 3. 8. Teknologi sensor induktif pada MRI	62
Gambar 3. 9. Diagram blok pengisian baterai nirkabel	63
Gambar 5. 1. Efek piezoelektrik pada kristal kuarsa	95
Gambar 5. 2. Pengaplikasian elektroda pada bahan kristal kutub pada sensor piezoelectric	96

Gambar 5. 3. Poling termal bahan piezoelektrik.....	99
Gambar 5. 4. Piezoelektrik multi lapis yang dilaminasi	101
Gambar 5. 5. Proses berkebalikan efek piezoelektrik.....	104
Gambar 5. 6. Proses gelombang transduser di pancarkan dan di refleksikan	105
Gambar 5. 7. Sensor ultrasonik HC-SR04.....	106
Gambar 5. 8. Pengiriman gelombang suara ke objek dan dipantulkan kembali ke sensor	106
Gambar 5. 9. Pancaran gelombang dari sensor ke objek tidak rata atau jauh.....	107
Gambar 5. 10. Rangkaian Transmitter.....	108
Gambar 5. 11. Rangkaian receiver.....	108
Gambar 6. 1. Simbol Elektronik light emitting diode (LED)	113
Gambar 6. 2. Mekanisme Laser	114
Gambar 6. 3. Bentuk LED Infra merah	115
Gambar 6. 4. Bagian LDR	116
Gambar 6. 5. Bentuk dan simbol Photo Transistor	117
Gambar 6. 6. Struktur Photo Transistor	118
Gambar 6. 7. Bentuk dan Simbol Photo Dioda.....	119
Gambar 6. 8. Struktur Dioda.....	120
Gambar 6. 9. Skematik sistem kerja sensor optik.....	121
Gambar 6. 10. Rangkaian sensor optik sederhana.....	122
Gambar 6. 11. Rangkaian sensor optik analog dengan LDR.....	123
Gambar 6. 12. Rangkaian sensor optik analog dengan Photodiode	123
Gambar 6. 13. Rangkaian sensor optik analog dengan Phototransistor.....	123
Gambar 6. 14. Rangkaian sensor optik digital LDR	124
Gambar 6. 15. Rangkaian sensor optik digital Photodiode	125
Gambar 6. 16. Rangkaian sensor optik digital Phototransistor.....	125
Gambar 6. 17. Panjang gelombang optik sensor.....	127
Gambar 6. 18. Pancaran reflektansi dalam beberapa LED IR.....	129
Gambar 6. 19. Ilustrasi sensor optik LED IR dan photodiode	130
Gambar 6. 20. Sudut pantul cahaya LED IR.....	131
Gambar 6. 21. Rangkaian sensor NIR dengan LED IR dan Photodiode	133
Gambar 7. 1. Hubungan transduser dan sensor	139
Gambar 7. 2. Sensor DHT11	140
Gambar 7. 3. Sensor ACS712	141
Gambar 7. 4. Sensor waterflow	142
Gambar 7. 5. Sensor MQ135	144

Gambar 7. 6. Motor DC dan proses konversi.....	145
Gambar 8. 1. Elemen dari biosensor.....	151
Gambar 8. 2. Diagram alir pengukuran biosensor.....	153
Gambar 8. 3. Elektrochemical Biosensor.....	154
Gambar 8. 4. Contoh Tipe Amperometric Biosensor.....	155
Gambar 8. 5. Potentiometric Biosensor.....	156
Gambar 8. 6. Impedimetric Biosensor.....	157
Gambar 8. 7. Piezoelectric Biosensor.....	159
Gambar 8. 8. Thermometric Biosensor.....	159
Gambar 8. 9. Optical Biosensor.....	160
Gambar 8. 10. Wearable Biosensor (WBS).....	161
Gambar 8. 11. Aplikasi Biosensor pada berbagai Bidang.....	164
Gambar 9. 1. Smart Sensor pada Sistem IoT.....	170
Gambar 9. 2. Diagram Blok Smart Sensor.....	174
Gambar 9. 3. Blok Sistem Smart Sensor.....	176
Gambar 9. 4. Self-calibration & Self-assessments pada Smart Sensor.....	180
Gambar 9. 5. Pendeteksian Gangguan pada Smart Sensor.....	181
Gambar 9. 6. Sistem Multi-sensing pada Smart Sensor.....	181
Gambar 9. 7. Aplikasi Smart Sensor pada Smart City.....	184
Gambar 9. 8. Penggunaan <i>Smart Sensor</i> pada Bidang Otomotif.....	186
Gambar 9. 9. Kemampuan jangkauan dan sudut pandang dari WR1243 mmWave transceiver.....	187
Gambar 9. 10. Diagram Aplikasi AWR1243 RF transceiver.....	187
Gambar 9. 11. Sensor TEF8102EN/N1E transceiver.....	188
Gambar 9. 12. Blok Diagram Biologic Nose and Electronic Nose.....	189
Gambar 9. 13. Implementasi Smart Sensor pada Smart Ships.....	190
Gambar 10. 1. Topologi Star.....	197
Gambar 10. 2. Topologi Peer to Peer.....	197
Gambar 10. 3. Topologi Tree.....	198
Gambar 10. 4. Topologi Mesh.....	199
Gambar 10. 5. LED Infra Merah.....	200
Gambar 10. 6. Detektor Infra Merah.....	200
Gambar 10. 7. Logo Bluetooth.....	202
Gambar 10. 8. Modul Bluetooth HC-06.....	202
Gambar 10. 9. NRF24L01 (a) dengan antena eksternal, (b) tanpa antena eksternal.....	203
Gambar 10. 10. Konfigurasi pin NRF24L01.....	204
Gambar 10. 11. Modul SIM800.....	205
Gambar 10. 12. Node MCU ESP8266.....	206
Gambar 10. 13. Board Arduino Uno.....	207

Gambar 10. 14. Skematik Rangkaian Pengiriman Data Suhu Dengan Bluetooth	208
Gambar 10. 15. Aplikasi Serial Bluetooth Pada Playstore	210
Gambar 10. 16. DHT11	211
Gambar 10. 17. Skematik Rangkaian Pengirim	212
Gambar 10. 18. Skematik Rangkaian Penerima	212
Gambar 10. 19. Sensor Suhu DS18B20	217
Gambar 10. 20. Skematik Rangkaian Node MCU dengan DS18B20 ...	219

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Karakteristik Sensor	11
Table 6. 1. Memperlihatkan Perbedaan Sinyal Output Tegangan (Vout).....	126
Tabel 9. 1. Perbedaan Normal Sensor & Smart Sensor	182

BAB 1

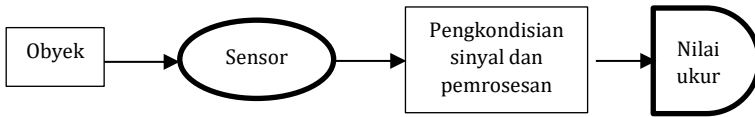
DASAR TEKNOLOGI SENSOR

Oleh S Nurmuslimah

1.1 Pendahuluan

Sensor merupakan suatu device yang pada saat ini banyak dipergunakan diberbagai aspek kehidupan manusia. Sensor dapat ditemukan dari rumah tangga, rumah sakit, laboratorium, lingkungan industri, peralatan militer dan lain-lain. Pada saat ini sensor merupakan bagian penting dari piranti bergerak seperti *handphone*. Pengetahuan tentang sensor merupakan salah satu aspek yang penting, khususnya bagi yang bekerja atau yang menekuni bidang tertentu seperti Instrumentasi, Pengukuran, Pengendalian, Elektronik, Teknik Komputer, Robotika dan lain-lain. Pemahaman tentang prinsip kerja sensor menjadi penting dan baik untuk pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi maupun dalam berbagai penerapan.

Sensor dikembangkan untuk menirukan panca indera manusia atau memberikan sebuah nilai tambah yang tidak dapat dilakukan oleh panca indera manusia. Dilihat dari prinsipnya, maka sensor telah digunakan oleh manusia sejak ratusan tahun yang lalu. Pada saat ini terdapat ribuan macam sensor dengan berbagai variasinya. Perkembangan menarik yang terjadi adalah bahwa jumlah sensor yang tersedia menjadi semakin banyak, teknologi yang dipergunakan semakin baik dan harganya semakin murah.(Setyawan, 2017)

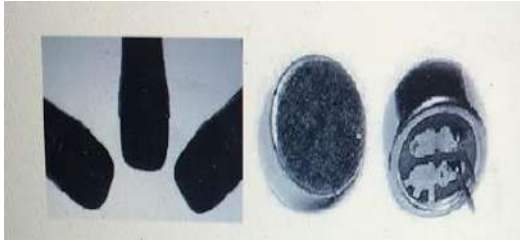


Gambar 1. 1. Sensor dalam suatu bagian sistem pengukuran

Sensor berada pada titik terdepan pada Gambar 1.1, keseluruhan proses untuk mendapatkan besaran fisis, kimiawi atau biologis dari beberapa obyek menjadi suatu informasi. Sensor berada pada rangkaian sistem pengukuran maupun pengendalian.

1.2 Definisi Sensor

Dalam ilmu bahasa sensor memiliki banyak makna, menurut *Comprehensive Dictionary of Instrumentation and Control*, Sensor didefinisikan sebagai sebuah nama generik untuk sebuah divais yang mendeteksi harga absolut nilai kuantitas fisis atau perubahan harga nilai kuantitas fisis dan mengubah pengukuran menjadi sebuah signal yang berguna untuk indikator maupun instrument pencatat. Pengertian lain dari Sensor sering diidentikkan sebagai sebuah *transducer*. *Tranducer* didefinisikan sebagai “elemen atau divais yang menerima informasi dalam sebuah bentuk kuantitas fisis dan mengubahnya menjadi informasi dalam kuantitas fisis yang sama atau yang berbeda”. Pengertian ini memiliki cakupan dan makna yang luas, karena hampir mencakup segala benda. Perbedaan nyata yang dapat dilihat dari dua definisi tersebut adalah bahwa dalam definisi *transducer* tidak terkandung adanya “nilai kuantitas”. Dengan kandungan makna “nilai kuantitas” sebuah sensor memiliki suatu keluaran yang dapat terkuantifikasi sehingga memiliki kandungan informasi.(W.H.Cubberly, 1991)



Gambar 1. 2. Mikrofon kondensor sebagai sensor mengubah getaran suara menjadi perubahan nilai kapasitansi
(Sumber: Setyawan, 2017)

Secara fungsional *transducer* dapat dibedakan dalam dua kelompok besar, *sensor* dan *actuator*. Yang membedakan dari kelompok ini adalah aspek terhadap suatu masukan, penggunaan energi dan bagaimana konversi dilakukan. Sebuah *transducer* berfungsi sebagai sensor ketika *transducer* mengubah besaran masukan menjadi suatu signal yang selanjutnya dapat diolah lebih lanjut yang diantaranya dapat menjadi suatu informasi. (Setyawan, 2017)

Contoh adalah sebuah *condenser microphone* yang dipakai untuk mendeteksi adanya suara dan diperkuat dengan piranti penguat suara. Dalam hal penggunaan energi dari suara sebagai masukan, *condenser microphone* hanya menggunakan sedikit energi suara, bahkan suatu mikrofon yang baik diharapkan dapat mengenali adanya getaran suara sekecil mungkin untuk selanjutnya diubah menjadi signal elektrik. Signal elektrik selanjutnya diperkuat oleh suatu sistem elektronik lain untuk kemudian diteruskan ke sistem lain, disimpan (direkam) dan lain sebagainya.

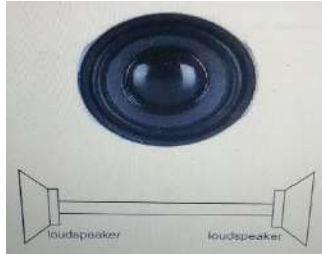
Mikrofon kondenser (*condenser microphone*) hanya dapat mengubah getaran suara menjadi perubahan nilai kapasitansi akibat mendekat atau menjauhnya plat kapasitor dari mikrofon. Dengan nilai muatan yang tetap, perubahan nilai kapasitansi ini mengakibatkan perubahan tegangan antara dua elektroda (plat) kapasitor. Sebuah mikrofon kondensor tidak dapat menghasilkan suara meskipun diberi signal listrik.



Gambar 1. 3. *Earphone* sebagai *actuator* mengubah

Dalam fungsi sebagai *actuator*, sebuah *transducer* akan mempergunakan signal masukan atau energi masukan untuk melakukan suatu aksi tertentu. Sebagai contoh adalah suata *earphone* yang mengubah signal listrik menjadi getaran membran yang membangkitkan suara.

Sebuah *transducer* sendiri dapat berfungsi ganda yaitu sebagai sensor dan sekaligus sebagai *actuator*. Sebagai contoh adalah sebuah *loudspeaker* yang terbuat dari membran, koil dan magnet. Dalam penggunaannya, *loudspeaker* menggunakan daya listrik yang diberikan untuk menimbulkan perubahan medan magnet pada koil. Perubahan medan magnet pada koil menyebabkan suatu bagian yang terhubung dengan sistem magnetik menggetarkan membran. Getaran membran menghasilkan suara, sebaliknya, *loudspeaker* juga dapat berfungsi seperti halnya sebuah mikrofon untuk mendeteksi adanya getaran pada membran akibat bunyi dan mengubahnya menjadi signal listrik. Getaran suara di udara menyebabkan perubahan tekanan udara. Perubahan tekanan udara menyebabkan permukaan membran loudspeaker akan ikut bergerak seiring dengan perubahan tekanan udara. Getaran ini mengakibatkan getaran pada koil magnet sehingga menimbulkan signal listrik. (Setyawan, 2017)



Gambar 1. 4. Loudspeaker kumparan yang dapat

Perbedaan antara sensor dan *transducer* adalah dalam hal penggunaan energi. Sensor memanfaatkan energi sekecil mungkin sehingga tidak mempengaruhi objek yang dideteksi. *Actuator* biasanya menggunakan energi besar karena akan menggerakkan sesuatu atau mempengaruhi objek.

1.3Klasifikasi Sensor

Dengan banyaknya sensor yang tersedia, serta ragam definisi yang ada maka dalam pengembangan dan penggunaannya, dilakukan suatu upaya untuk melakukan klasifikasi dan memudahkan dalam menentukan suatu sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Bentuk-bentuk klasifikasi lain dapat dilakukan sesuai dengan kepentingan dalam pemilihan. Ada beberapa aspek dari kriteria-kriteria klasifikasi, misal klasifikasi berdasarkan prinsip fisis yang bekerja pada bahan yang dipergunakan antara lain :

- ❖ Photoelektrik
- ❖ Magnetoelektrik
- ❖ Thermoelektrik
- ❖ Photokonduktif
- ❖ Magnetostriktif
- ❖ Elektrostriktif
- ❖ Photomagnetik
- ❖ Thermoelastik
- ❖ Thermomagnetik

- ❖ Thermooptik
- ❖ Electrokimia
- ❖ Magnetoresistif
- ❖ Photoelastik.

1.4 Klasifikasi Transduksi

Klasifikasi berdasarkan prinsip transduksi dititik beratkan pada bagaimana sensor mengkonversikan signal masukan menjadi keluaran. Dengan mengacu pada terminology yang digunakan dalam dunia elektronik, sensor diklasifikasikan sebagai sensor aktif dan sensor pasif, atau dilihat dari bagaimana penggunaan energi dalam melakukan proses transformasi dari besaran masukan menjadi keluaran, maka sensor dapat diklasifikasikan menjadi :

1.4.1 Sensor yang mampu menghasilkan energi (*self-generating sensor*)

Self-generating sensor akan mengubah energi masukan menjadi energi keluaran secara langsung tanpa tambahan energi lain. Analogi dengan komponen elektronika dasar, maka *self-generating* sensor adalah komponen pasif layaknya sebuah hambatan, kapasitor atau induktor. Contohnya adalah sel surya, termokopel, *piezoelektrik*, elektroda pH dan lain-lain.

1.4.2 Sensor yang berfungsi mengendalikan energi (*modulating sensor*)

Modulating sensor adalah sensor yang dalam prosesnya untuk perubahan energi masukan menjadi energi keluaran yang memerlukan energy tambahan. Sensor jenis ini memanfaatkan energi dari objek ukur untuk mengendalikan (memodulasi) signal lain yang sengaja diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Signal keluaran merupakan signal tambahan yang dimodulasikan. Signal keluaran yang dihasilkan dapat berupa signal analog, digital atau sinyal lain non elektrik. Contohnya

adalah *strain gauge*, magnetotransistor, thermometer hambatan dan lain-lain. Analogi komponen elektroniknya adalah komponen aktif seperti transistor.

1.5 Besaran Masukan

Jenis dari besaran (kuantitas) objek ini menjadi suatu pertimbangan dalam pengembangan sensor. Maka besaran (kuantitas) dari objek dapat memanfaatkan kuantitas berupa, seperti :

- ❖ Besaran mekanik adalah suatu besaran yang berkaitan dengan kuantitas-kuantitas dalam lingkup sistem mekanik, misalnya adalah massa, percepatan, gaya, tekanan, pergeseran dan lain-lain.
- ❖ Besaran panas, adalah yang berkaitan dengan proses-proses yang berhubungan dengan energi panas.
- ❖ Besaran listrik, adalah besaran yang berkaitan dengan arus, tegangan, hambatan, kapasitansi, induktansi dan aspek kelistrikan lain.
- ❖ Besaran magnetik, adalah berhubungan dengan aspek kemagnetan yang berupa medan magnet dan fluks magnet.
- ❖ Besaran radiasi, adalah mencakup radiasi elektromagnetik maupun partikel, baik radiasi dengan energi rendah maupun radiasi pengion.
- ❖ Besaran kimiawi, adalah besaran yang merepresentasikan kandungan atau jumlah molekul dari suatu senyawa atau unsur. Besaran kimiawi ini dapat mencakup kuantitas bahan-bahan biologi, khusus yang berhubungan dengan besaran fisis, khususnya besaran mekanik.

1.6 Klasifikasi Berdasarkan Aplikasi

Klasifikasi berdasarkan jenis-jenis aplikasi yang didasarkan pada penggunaan sensor. Aplikasi ini terus berkembang sesuai dengan perkembangan aplikasi sensor. Adapun jenis-jenis aplikasi sensor, misalnya :

- ❖ Rumah tangga

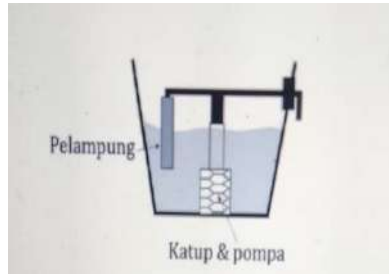
- ❖ Otomotif
- ❖ Industri
- ❖ Energi
- ❖ Militer
- ❖ Kesehatan
- ❖ Laboratorium
- ❖ dll

Masing-masing jenis aplikasi memiliki spesifikasi yang disesuaikan dengan kondisi dan keperluan dari aplikasi, dimana sensor dipergunakan. Contoh: sensor untuk keperluan rumah tangga tidaklah harus setangguh suatu sensor yang diperuntukkan untuk keperluan militer. Sedangkan dari sisi harga, maka aplikasi untuk keperluan rumah tangga akan diupayakan pada suatu harga yang dapat terjangkau oleh masyarakat umum. Sebaliknya untuk keperluan militer, harga bukan menjadi suatu pertimbangan utama, namun dititik beratkan pada daya tahan terhadap berbagai kondisi dan tegangan.

1.7 Aspek Teknologi

Dari beberapa jenis dan contoh pada aplikasi sensor, maka sangatlah logis apabila dari aspek teknologi sangat bervariasi. Teknologi yang dipergunakan dalam pembuatan sensor menggunakan teknologi yang sederhana sampai dengan teknologi terbaru.

Contoh sensor ketinggian air untuk indikator ketinggian air di dalam bak penampungan yang terintegrasi dengan katup penutup aliran air maupun yang sekaligus berfungsi sebagai sakelar otomatis dalam rangkaian sistem pompa air. Sensor terbuat dari tabung udara dari bahan plastik atau logam, tuas atau tali dan sakelar listrik. Sistem sensor dan aktuator semuanya disusun dengan menggunakan sistem mekanik.



Gambar 1. 5. Sensor ketinggian air dalam

Sensor suhu dalam bentuk *thermometer* terbuat dari cairan sensitif terhadap suhu dan gelas kapiler. Sensor suhu pada oven pemanggang yang menggunakan bahan bimetal dengan penunjuk suhu jarum dan masih banyak lagi yang bekerja dengan teknologi mekanik yang relatif sederhana. Hal tersebut berbeda dengan sensor cahaya yang dipergunakan dalam kamera digital. Sensor cahaya dibuat dengan menggunakan teknologi mikroelektronika yang melibatkan teknologi *lithography* melalui proses pembuatan yang melibatkan tahapan proses dan penggunaan teknologi yang kompleks. Dari sisi sensor, kandungan teknologi dan tingkat kompleksitas pemrosesan di dalam sistem sensor serta bagaimana sensor meneruskan luaran ke piranti-piranti lain yang menimbulkan pengklasifikasian sensor menjadi sensor sederhana dan sensor cerdas (*smart sensor*). Sensor sederhana adalah sensor yang hanya terdiri atas elemen pengindera saja (transduser). Sebuah sensor dikatakan sensor cerdas apabila selain elemen transduser terdapat rangkaian elektronik yang terintegrasi. Atau bahwa sebuah sensor cerdas harus mengandung pemroses digital sebagai satu kesatuan dalam divisinya. Ada beberapa pendapat definisi dari sensor cerdas yaitu :

- ❖ Menurut Middlehook dan Hoogerwerf mendefinisikan sebuah sensor cerdas apabila di dalam sensor setidaknya terdapat rangkaian pengolah signal yang terintegrasi dalam sebuah chip.
- ❖ Menurut Edwards dan Huijsing mendefinisikan bahwa sensor cerdas adalah sensor yang di dalamnya terkandung pengkondisi signal analog pemroses digital dan antarmuka komunikasi dalam sebuah sistem.

Sensor cerdas memanfaatkan kemajuan teknologi mikroelektronika dan teknologi komunikasi data yang menjadi bagian penting dari teknologi *Internet of Thing (IoT)*.(O.Baiocchi, 2016)

Sensor cerdas terintegrasi dengan sistem mikroelektronika yang diimplementasikan dalam teknologi silicon maupun dalam bentuk modul elektronik dengan konsumsi daya yang sangat rendah dan memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan sensor yang lain maupun dengan sistem-sistem lain dalam bentuk *wireless sensor network*.(Curiosity R, 2016).

1.8 Karakteristik Sensor

Sensor memiliki suatu karakteristik yang mendeskripsikan sifat-sifat yang dimiliki. Karakteristik ini memberikan penjelasan yang dapat dipergunakan sebagai dasar dalam penggunaan sensor. Secara ideal sensor memiliki karakteristik umum yang dimiliki yang dapat dipergunakan sebagai suatu ukuran untuk membandingkan kualitas sensor. Namun demikian pada kenyataannya, sensor memiliki karakteristik yang tidak selalu dapat memenuhi karakteristik ideal sensor.

Adapun karakteristik yang selalu dimiliki oleh sensor adalah hubungan input-output, sensitivitas, selektivitas, akurasi dan waktu tanggap (*respond time*). Selain karakteristik tersebut, juga terdapat karakteristik lain yang perlu dideskripsikan karena akan berakibat pada penggunaan sensor, misal : histerisis, respon terhadap frekuensi, sifat kelistrikan, rasio antara signal dan derau (*signal to noise ratio, S/N*) dan lain-lain yang dipandang perlu untuk mendeskripsikan sensor dengan lebih jelas.

Tabel berikut berisi karakteristik dasar sensor dan keterangan yang mendeskripsikan keadaan ideal yang diharapkan.

Tabel 1. 1. Karakteristik Sensor

Sifat	Kondisi Ideal Sensor
Hubungan input-output	Diharapkan merupakan persamaan linear sederhana
Histeris	Sifat yang menjelaskan perubahan dan nilai keluaran sensor pada saat terjadi perubahan nilai masukan dari kecil ke besar dan dari besar ke kecil. Tak ada histerisis, respon keluaran akan kembali melalui lintasan hubungan luaran dan masukan yang sama.
Selektivitas	Sensor hanya bereaksi terhadap nilai masukan yang diinginkan, dan tidak terpengaruh oleh yang lain.
Sensitivitas	Sensor mampu membedakan perubahan nilai besaran ukur yang kecil dengan baik.
Waktu tanggapan	Sensor memiliki waktu tanggapan nol. Ketika ada perubahan masukan, maka tanpa ada penundaan waktu akan dihasilkan keluaran yang sesuai dengan masukan.

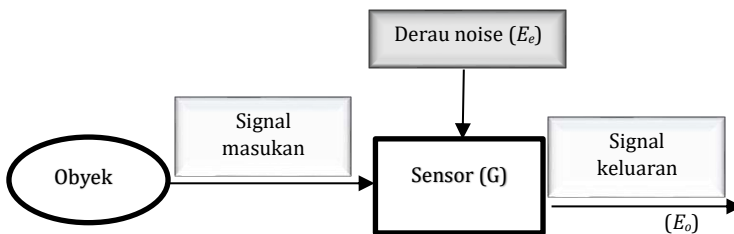
1.9 Sensor Sebagai Sistem Fisis

Sebuah sensor dapat dilihat sifat-sifat fisisnya, yaitu sifat sensor berkaitan dengan signal (energi) sebagai pembawa informasi.(J.G. Webster, 1999)

Sifat ini dikenal sebagai karakteristik sensor yang menunjukkan perilaku signal keluaran sensor terhadap signal masukan yang diterima oleh sensor dari objek ukur. Karakteristik sensor ini mengandung sifat statik dan dinamik.(K. Kalantar-Zadeh, 2013)

Sifat statik sensor berkaitan dengan kelakuan sensor, terutama signal keluaran yang dihasilkan, pada keadaan tunak keluaran (*steady state output*) akibat sebuah masukan. Keadaan ini dicapai pada saat keluaran sensor tidak lagi berubah, atau diasumsikan bahwa waktu yang dicapai sudah cukup lama, setelah diberi signal masukan yang konstan. Sifat statik tidak memiliki unsur fungsi waktu. Sifat dinamik sensor berhubungan dengan kelakuan sensor pada waktu sesaat setelah signal masukan diberikan. Sifat ini merupakan suatu bentuk fungsi waktu, dengan pokok perhatian pada perubahan signal keluaran sensor.

Berdasarkan teori sistem (*system theory*), maka sebuah sensor dapat dinyatakan sebagai bagian dari proses penyampaian informasi (kanal) dengan keadaan riil seperti Gambar 1.6. Pada keadaan ini, selain signal masukan (E_i) dari obyek ukur, sensor juga mendapatkan derau (*noise*, E_e) yang tidak diinginkan. Kedua masukan tersebut, yaitu signal masukan dari obyek dan derau, diubah oleh sensor menjadi signal keluaran (E_o). Secara matematis sifat sensor dinyatakan sebagai fungsi pindah (G , *transfer function*). Besaran-besaran E_i , E_e , E_o merupakan salah satu dari besaran-besaran fisis atau kimiawi.



Gambar 1. 6. Sensor sebagai sebuah kanal informasi

1.10 Karakteristik Statik Sensor

1.10.1 Hubungan Masukan dan Keluaran

Hubungan masukan keluaran sensor menggambarkan suatu bentuk hubungan matematis antara signal keluaran (*output*) terhadap signal masukan (*input*), termodulasi dan gangguan. Dalam hal ini, maka variabel keluaran akan dinyatakan sebagai fungsi variabel masukan dan signal yang lain. Secara ideal variabel keluaran tidak dipengaruhi oleh gangguan. Hubungan antara signal masukan dan keluaran dapat berupa suatu hubungan linier atau tidak linier, dalam bentuk nilai tunggal satu masukan satu keluaran, satu masukan banyak keluaran, banyak masukan satu keluaran dan bentuk-bentuk lain. Pada kebanyakan sensor hubungan keluaran terhadap masukan dan signal yang lain membentuk hubungan dalam bentuk persamaan polinomial, logaritmik atau eksponensial. Yang paling sederhana dan mudah dalam pengolahannya adalah dalam bentuk persamaan linier.

Hubungan antara keluaran dan masukan dari suatu sensor kebanyakan diperoleh melalui proses eksperimen (pengukuran), hal ini disebabkan pemodelan matematis atas karakteristik sensor secara utuh masih sulit untuk dilakukan. Bentuk-bentuk persamaan hubungan antara keluaran dan masukan dipengaruhi oleh banyak hal, dan di dalam sensor sendiri merupakan akumulasi dari berbagai proses yang terjadi. Namun demikian prediksi atas bentuk hubungan sudah dapat diperkirakan pada proses perancangan sensor dengan pengetahuan atas sifat bahan dan disain yang dibuat. Beberapa sensor disusun dengan disain yang telah diketahui secara jelas mekanisme kerjanya, sehingga hubungan keluaran terhadap masukan secara teoritis dapat dibuat, namun demikian tetap pada akhirnya melalui proses kalibrasi baru, sehingga didapatkan hubungan keluaran terhadap masukan yang sesungguhnya.

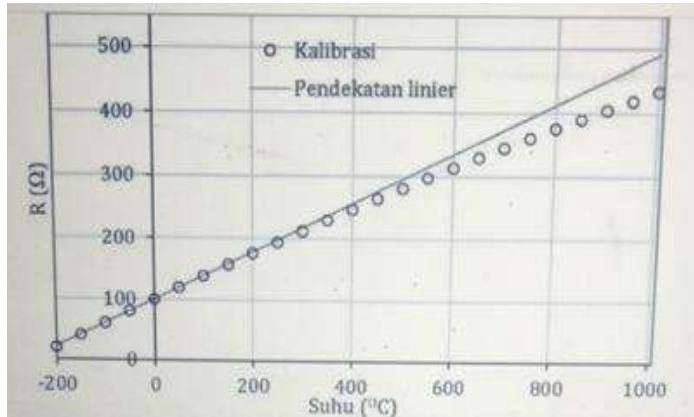
Persamaan matematis menunjukkan hubungan keluaran dan masukan biasanya dapat dinyatakan sebagai *polynomial* orde satu (persamaan linier) dengan berbagai pembatasan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam pemrosesan lebih lanjut atas signal keluaran yang dihasilkan oleh sensor. Contoh sebuah sensor suhu yang menggunakan perubahan hambatan yang memiliki persamaan hambatan terhadap perubahan suhu dinyatakan dengan persamaan 1.1.

$$R_T = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2) \quad (1-1)$$

Dengan α dan β merupakan koefisien perubahan hambatan terhadap suhu pada orde 1 dan 2, dan T merupakan suhu terhadap 0°C . Pada kondisi tertentu dapat didekati dengan persamaan linier dalam bentuk $R_T = R_0 + \alpha T$. Dengan demikian, perkembangan teknologi mikroelektronika dalam pengolahan, maka hubungan keluaran terhadap masukan dapat berbentuk persamaan lain yang lebih kompleks. Misalnya untuk kasus sensor suhu dapat didekati dengan persamaan polinomial orde tinggi.

1.10.2 Ketidaklinieran (*Non linearity*)

Ketidaklinieran dinyatakan sebagai simpangan maksimum keluaran sensor dari suatu kondisi keluaran fungsi linier. Ini terjadi karena fungsi hubungan keluaran terhadap masukan sensor didekati sebagai suatu fungsi linier pada suatu rentang nilai tertentu, padahal kenyataannya tidak linier. Ketidaklinieran diambil dari hasil-hasil pengukuran pada saat dilakukan proses kalibrasi. Dengan adanya ketidaklinieran maka ketepatan sensor menjadi lebih rendah (berkurang). Misal hasil kalibrasi dari suatu sensor yang menghasilkan pasangan nilai X (masukan) dan Y (keluaran), jika digambarkan dalam suatu grafik tidak bersifat linier, dengan menggunakan metode *least square* akan diperoleh pendekatan persamaan linier sensor yang menggambarkan hubungan linier antara X dan Y .



Gambar 1. 7. Contoh perbedaan nilai dengan pendekatan

Pada Gambar 1.7 menunjukkan titik-titik data hasil kalibrasi sensor suhu, dan sebuah pendekatan garis linier yang menghubungkan antara suhu dan hambatan. Pada gambar menunjukkan bagaimana terjadi suatu perbedaan antara nilai yang ditunjukkan oleh data hasil kalibrasi dan keluaran yang didapatkan dari pendekatan linier. Penyimpangan nilai terlihat pada suhu di atas 400°C.

1.10.3 Batas Kerja dan Lebar Kerja (*Range*)

Batas kerja adalah batas nilai minimum masukan dan nilai maksimum masukan dari besaran yang dapat dideteksi oleh sensor tanpa merusak sensor atau menyebabkan hubungan masukan-keluaran sensor yang ditetapkan tidak terpenuhi dan nilai ini merupakan batas kerja sensor. Batas sebuah sensor akan bekerja normal dan aman jika nilai signal masukan tidak melewati batas kerja. Pada bagian keuaran, sebuah sensor memiliki batas signal keluaran selama sensor masih bekerja dengan normal. Batasnya adalah E_i minimum dan E_i maksimum, dan apabila nilai besaran masukan maupun keluaran tidak berada dalam persamaan batas kerja, maka sensor berada pada

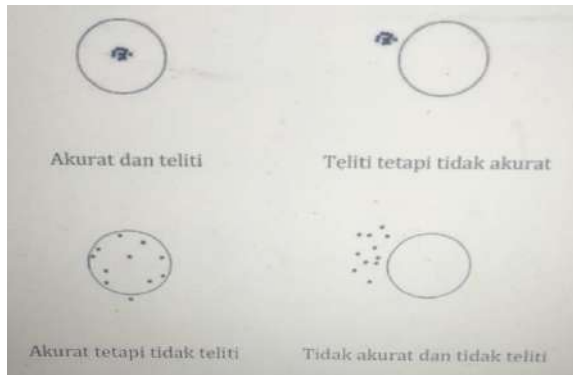
kondisi kerja tidak normal. Kesalahan-kesalahan deteksi dapat terjadi karena sensor tidak lagi bekerja pada hubungan keluaran dan masukan.

Lebar kerja (span) adalah selisih antara signal masukan maksimum dan minimum. Dengan demikian batas ukur memiliki nilai minimum dan maksimum, sedangkan lebar ukur bernilai tunggal. Sebuah sensor ideal akan memiliki batas dan lebar ukur tak terbatas. Secara teoritis sebuah sensor ideal akan menanggapi setiap nilai maupun perubahan nilai besaran obyek ukur. Contoh sebuah sensor suhu hanya mampu dipakai bekerja pada suhu -40°C sampai $+260^{\circ}\text{C}$. sensor suhu yang lain dapat dipakai untuk mendeteksi suhu antara $+200^{\circ}\text{C}$ sampai $+500^{\circ}\text{C}$. Batas ukur kedua sensor riil berbeda, tetapi lebar ukurnya sama. Rentang nilai masukan sensor tidak lagi dapat memberikan respon keluaran (perubahan keluaran) disebut *dead zone*. Pada rentang ini sensor tidak akan memberikan respon meskipun masukan berubah.

1.10.4 Ketepatan dan Ketelitian

Ketepatan dan ketelitian ukur merupakan dua hal yang berbeda. Ketepatan didefinisikan sebagai derajat kesesuaian dari harga keluaran terhadap harga standar yang seharusnya. Semakin kecil nilai kesalahan sebuah sensor, maka pembacaan sensor semakin tepat. Misal sensor suhu yang menunjukkan 99°C pada saat digunakan untuk mengukur air yang mulai mendidih dengan tekanan 1 atmosfer, yang memiliki ketepatan lebih baik dibandingkan sensor dengan suhu 98°C dengan kondisi yang sama.

Sedangkan Ketelitian merupakan sebuah nilai kuantitatif yang menunjukkan kesesuaian dengan hasil-hasil pengukuran yang berulang. Nilai ketelitian biasanya dinyatakan sebagai bentuk standar deviasi yang diperoleh dari proses pengukuran berulang dalam kondisi masukan dan lingkungan yang konstan.



Gambar 1. 8. Gambaran visual deskripsi ketepatan dan ketelitian

Sensor suhu yang berulang-ulang menunjukkan nilai suhu antara 98°C - $98,5^{\circ}\text{C}$ memiliki ketelitian yang lebih baik dibandingkan sensor lain yang menunjukkan nilai suhu 99°C - 101°C pada saat dipergunakan untuk mengukur suhu air yang mendidih pada tekanan 1 atmosfer. Tetapi sensor kedua memiliki ketepatan yang lebih baik daripada sensor pertama. Contoh sensor memiliki ketelitian 0,1%, $0,1^{\circ}\text{C}$, 1mm dan lain-lain. Dalam bekerjanya sebuah sensor memiliki kesalahan keluaran, adalah kesalahan bentuk penyimpangan nilai keluaran sensor dari nilai yang seharusnya.

Kesalahan yang ditimbulkan oleh sensor dapat berupa suatu bentuk kesalahan sistematis yang selalu terjadi yang umumnya disebabkan oleh kesalahan kalibrasi, kesalahan acak (*random error*) yang memberikan kesalahan yang berbeda-beda pada setiap proses penggunaan. Timbulnya kesalahan pada sensor disebabkan oleh banyak aspek seperti cacat pada sensor karena kerusakan, proses penuaan bahan sehingga terjadi penyimpangan terhadap nilai awal, pemasangan yang salah, noise lingkungan, gangguan elektromagnetik dan lain-lain. Contoh sensor suhu dari thermistor yang dipergunakan untuk mengukur suhu dari -10 dan $+80^{\circ}\text{C}$ serta menghasilkan tegangan keluaran

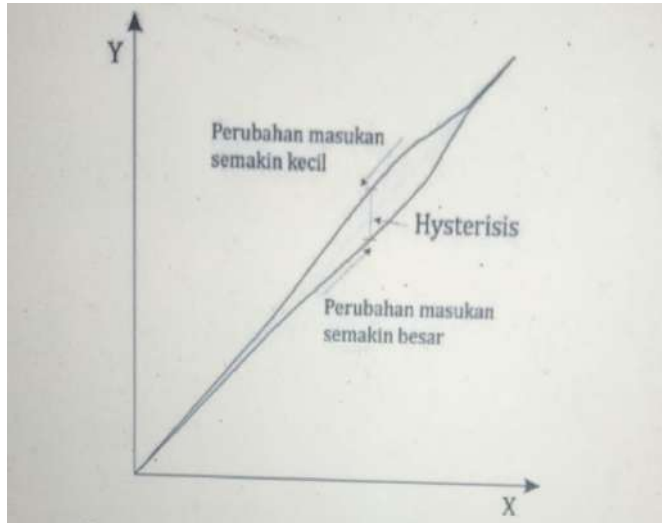
dari 1,0 sampai 2,5V. Karena adanya kesalahan dari sensor, maka tingkat ketepatan dapat diperoleh sebesar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

1.10.5 Sensitivitas dan Resolusi

Sensitivitas sensor adalah sebagai perubahan keluaran akibat perubahan masukan. Perubahan keluaran terhadap masukan ini dinyatakan terhadap satuan masukan. Misal adalah $0,5\text{V}/^{\circ}\text{C}$, $10\text{mV}/\text{mm}$ dan lain-lain. Semakin besar nilai sensitivitas maka sensor akan memberikan respon keluaran yang semakin besar terhadap perubahan nilai besaran masukan. Resolusi dari sebuah sensor dinyatakan sebagai nilai perubahan masukan terkecil yang masih dapat dideteksi pada keluaran sensor. Misal sensor yang memiliki resolusi sebesar $0,01\text{mm}$, berarti sensor akan mampu memberikan keluaran yang terukur akibat adanya perubahan masukan pada $0,01\text{mm}$, perubahan nilai masukan kurang dari $0,01\text{mm}$ tidak memberikan perubahan nilai yang dapat dideteksi. Resolusi dinyatakan dalam bentuk relatif terhadap pembacaan maksimum maupun dalam bentuk nilai mutlak.

1.10.6 Histerisis

Histerisis terjadi pada sensor akibat sifat-sifat bawaan sensor, secara fisis dimungkinkan, karena adanya suatu sifat kelembaman (*inertia*) dari sebuah benda akibat adanya suatu perubahan. Histerisis pada sensor dapat terjadi karena keluaran sensor tidak mampu mengikuti perubahan masukan pada arah perubahan yang berbeda yaitu dari kecil ke besar atau dari besar ke kecil. Nilai keluaran sensor pada suatu nilai masukan tertentu (x_1) menunjukkan nilai yang berbeda ketika nilai x_1 dicapai dari saat nilai masukan lebih rendah dari x_1 dan pada saat lebih tinggi dari x_1 .



Gambar 1. 9. Histerisis pada keluaran sensor

Gambar 1.9 menunjukkan perbedaan nilai keluaran Y terhadap nilai masukan X pada saat X berubah dari kiri ke kanan maka nilai semakin besar, dan dari kanan ke kiri maka nilai semakin kecil. Histerisis banyak ditemukan pada sensor-sensor yang menggunakan bahan magnetik atau bekerja dengan prinsip magnetik.(D.M. Kepaptsoglou, 2005)

Hal ini tidak bisa dihindari karena sifat bawaan dari bahan magnetik dan mekanisme induksi. Pengembangan teknologi ditujukan untuk mengurangi atau memperkecil histerisis karena histerisis mengakibatkan kesalahan dalam pendeteksian.(J.L Prieto, 1998)

1.1.1 Karakteristik Dinamik Sensor

Karakteristik dinamik sensor menunjukkan bagaimana keluaran sensor akibat adanya perubahan signal masukan. Sifat-sifat biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial atau bentuk transformasi Laplace. Fungsi sensor dinyatakan

sebagai fungsi pindah (*transfer function*). Fungsi pindah sebuah sensor dapat dinyatakan sebagai sistem orde satu atau dua.

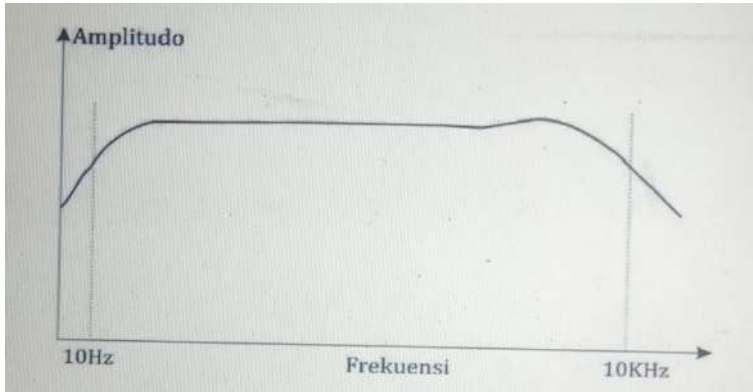
1.11.1 Tanggapan Waktu

Aspek-aspek yang perlu diperhatikan dari fungsi keluaran adalah:

- ❖ Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh sensor untuk menghasilkan keluaran akibat sebuah signal masukan.
- ❖ Waktu naik adalah waktu yang diperlukan oleh sensor untuk berubah dari nilai 10% terhadap nilai keluaran tunak ke 90% terhadap nilai keluaran tunak.
- ❖ Waktu reaksi adalah waktu yang diperlukan oleh keluaran sensor untuk berubah dari 0 sampai 63.2% dari keluaran tunak. Untuk sistem orde satu, maka waktu reaksi adalah konstanta waktu hanya ada satu, sedangkan pada sistem orde dua maka konstanta waktu ada dua.

1.11.2 Tanggapan Frekuensi

Tanggapan frekuensi (*frequency response*) dari sensor adalah tanggapan akibat masukan sinusoid. Tanggapan frekuensi menunjukkan bagaimana keluaran sensor berubah akibat perubahan frekuensi dari signal sinusoid masukan. Tanggapan frekuensi dikarakterisasikan oleh penguatan (*gain*) sensor, beda frekuensi maksimum dan minimum yang masih direspon (*bandwidth*) dan beda fase antara signal keluaran dan masukan. Diluar rentang kerja frekuensi sensor, maka respon sensor terhadap perubahan masukan tidak lagi sesuai dengan spesifikasi sensor. Sensor tidak lagi sensitif terhadap perubahan besaran masukan. Dalam kondisi ekstrim sensor tidak merespon adanya perubahan masukan karena terlalu cepat atau terlalu lambat.



Gambar 1. 10. Tanggapan frekuensi sebuah sensor

Gambar 1.10 menunjukkan suatu contoh respon keluaran dari sensor pada saat besaran masukan berubah periodik secara sinusoidal. Perubahan masukan yang berubah dengan frekuensi di atas 100KHz, sensor tidak akan memberikan respon keluaran. Pada umumnya sebuah sensor banyak yang berperilaku sebagai sebuah sistem yang akan berfungsi seperti *low pass filter*. Dalam perilakunya sensor akan memberikan respon keluaran mengikuti perubahan masukan yang lambat. Untuk perubahan masukan yang semakin cepat, maka keluaran sensor tidak mampu mengikuti perubahan yang terjadi sehingga besarnya respon menjadi kurang dari yang seharusnya.

1.12 Karakteristik Utama Sensor

Sensor pergeseran linier dan sudut merupakan salah satu sensor yang banyak dikembangkan. Sensor jenis ini bekerja dengan menggunakan prinsip hambatan, kapasitor. Induktor, optik maupun ultrasonic. (D.S. Nyce, 2003)

Teknologi yang dipergunakan meliputi teknologi sederhana sampai dengan teknologi mikro-fabrikasi dan serat optik. Ketelitian pendeteksian sensor pergeseran telah

berkembang jauh sampai dengan skala nanometer.(A.J. Fleming, 2013)

Masing-masing prinsip kerja memiliki keunggulan dan kelemahan baik dari sisi presisi, ketepatan, harga dan daya tahan terhadap gangguan mekanik. Masing-masing prinsip kerja berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Teknologi-teknologi yang mempengaruhi misalnya teknologi bahan, teknologi elektronika, teknologi pelapisan dll.

Penggunaan sensor sangat beragam dari yang sederhana misal sensor untuk ketinggian air, isi tangki bahan bakar pada mobil, sampai dengan penggunaan dikontrol pesawat, pesawat ruang angkasa dan sistem-sistem mikro. Juga dipergunakan secara langsung sebagai sensor untuk mengukur besaran posisi/jarak, sensor ini dikombinasikan dengan mekanisme untuk dipergunakan sebagai sensor lain, seperti tekanan, gaya, getaran dan lain-lain.

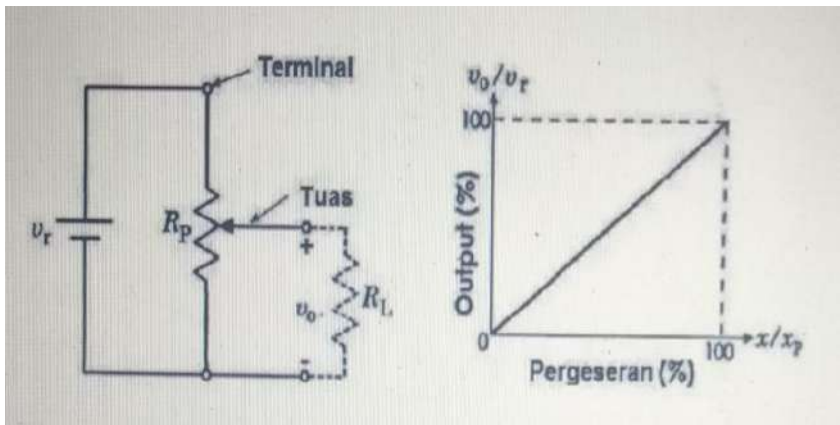
1.13 Prinsip Kerja Sensor

Potensiometer merupakan salah satu contoh sederhana dari sebuah sensor pergeseran. Sebuah potensiometer bekerja dengan menggunakan prinsip hukum Ohm dan sifat hambatan bahan. Selain menggunakan prinsip kerja yang sederhana, sensor dengan prinsip perubahan nilai hambatan mudah dalam pengembangan pengkondisi signal. Perubahan nilai hambatan dapat secara langsung atau melalui suatu rangkaian yang sederhana dihubungkan ke pengubah analog ke digital suatu sistem mikrokontroller untuk diproses.(F. Reverter, 2012)

Untuk seutas penghantar dengan luas penampang yang homogen, maka hambatan ditentukan oleh persamaan 1.2 dengan R : hambatan penghantar, ρ : hambatan jenis penghantar, L : panjang bahan dan A : luas penampang bahan.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1-2)$$

Semakin panjang penghantar atau semakin kecil luas penampangnya, maka hambatan penghantar akan semakin besar dengan suatu bentuk hubungan linier. Sebuah sensor pergeseran linier dengan potensiometer dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.11. Untuk menggeser posisi kontak hambatan, dipergunakan sebuah tuas yang sekaligus dipergunakan sebagai titik ukur pergeseran. Sehingga dalam hal ini nilai hambatan akan sebanding dengan posisi tuas (x). dengan menggunakan hukum Ohm maka tegangan keluaran sensor (potensiometer) dapat diukur yang menunjukkan nilai pergeseran (x).

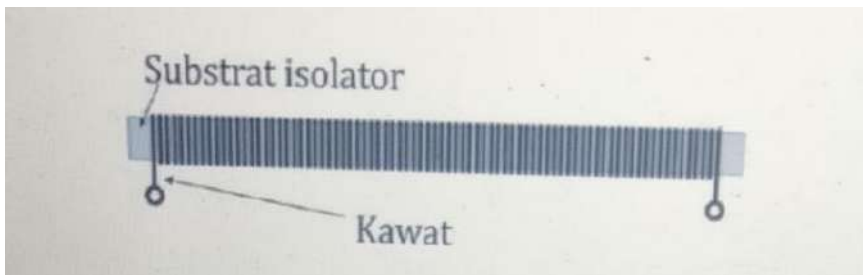


Gambar 1. 11. Sensor pergeseran potensiometer dan

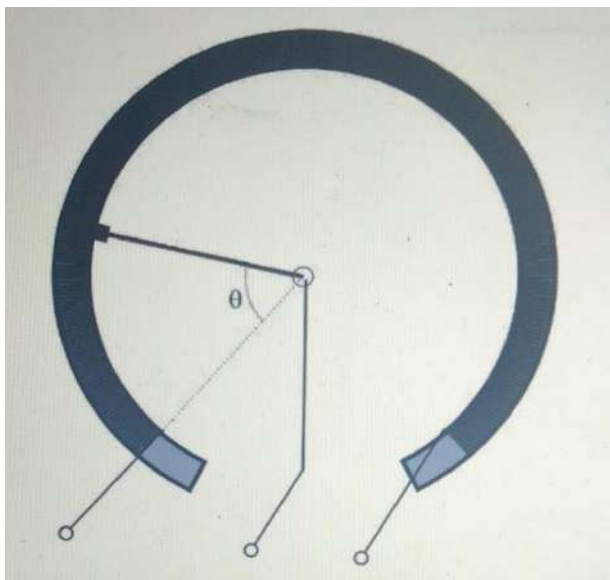
Sensor pergeseran dengan menggunakan prinsip hambatan biasanya dipergunakan dalam suatu rangkaian pembagi tegangan. Sebuah sumber tegangan tetap diberikan pada kedua ujung sensor sebagai suatu system hambatan. Besarnya hambatan pada posisi x dinyatakan sebagai R_x dibandingkan dengan nilai hambatan total R_p , dapat dinyatakan dalam persamaan (1-3).

$$R_x = \frac{x}{x_p} R_p \quad (1-3)$$

Sebuah sensor pergeseran dengan menggunakan potensiometer dapat berupa seutas kawat (penghantar), dapat berupa gulungan kawat (*wirewound*), dapat berupa bahan penghantar yang dideposisikan di atas suatu permukaan substrata tau bentuk-bentuk lain sepanjang luas penampangnya tetap.



Gambar 1. 12. Sensor potensiometer gulungan kawat



Gambar 1. 13. Potensiometer gulungan kawat untuk

Pada Gambar 1.13, menunjukkan salah satu contoh potensiometer tali, pergeseran linier dikonversikan menjadi perputaran potensiometer melalui suatu piringan putar.

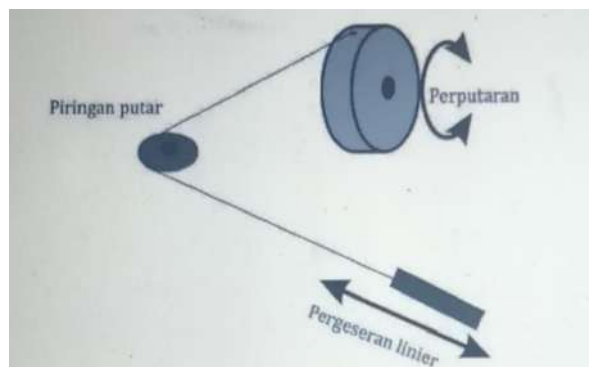
Sensor pergeseran dengan menggunakan potensiometer memiliki kelebihan-kelebihan dalam hal:

- ❖ Kemudahan dalam penggunaan (pembagi tegangan)
- ❖ Murah
- ❖ Merupakan teknologi yang sudah teruji
- ❖ Signal keluaran besar

Sedangkan kekurangan-kekurangan yang dimiliki antara lain adalah sebagai berikut:

- ❖ Lebar pita frekuensi yang sempit
- ❖ Adanya beban gesekan
- ❖ Adanya beban inersia
- ❖ Keausan karena gesekan mekanik

Selain dipergunakan dengan tuas secara langsung untuk menunjukkan posisi, baik linier maupun sudut, maka mekanisme transformasi dari pergeseran linier ke sudut dan sebaliknya dapat dipergunakan dalam konstruksi sensor. Contoh sensor potensiometer yang dihubungkan dengan suatu tali, dikenal sebagai potensiometer tali (*string potentiometer*).



Gambar 1. 14. String potentiometer untuk sensor pergeseran linier

Pada Gambar 1.14 merupakan contoh perbandingan antara potensiometer linier dengan potensiometer tali. Dengan ukuran sensor yang lebih kecil, potensiometer tali dapat memiliki rentang pergeseran yang lebar yang dapat setara dengan sensor

potensiometer linier dengan dimensi fisik yang lebih panjang (besar). Sehingga penggunaan potensiometer tali menjadi cukup menarik dan dipakai diberbagai aplikasi. Adapun aplikasi-aplikasi dari sensor pergeseran dengan potensiometer antara lain:

- ❖ Penunjuk atau indikator posisi bahan bakar (bensin, solar)
- ❖ Meja geser pada peralatan pencitraan (CT scan, MRI)
- ❖ Posisi kedalaman pengeboran bumi
- ❖ Ekskavator
- ❖ dll

1.14 Sensor Pergeseran Dengan Gulungan Kawat

Sensor pergeseran dengan menggunakan gulungan kawat dibuat dengan melilitkan secara kompak (saling merapat) kawat penghantar pada suatu inti lilitan dari bahan isolator listrik. Kawat yang dililitkan diatur sehingga tidak terjadi hubungan singkat antar kawat. Pengaturan dapat dilakukan dengan memberikan jarak antar lilitan atau dengan memberi lapisan isolator pada kawat penghantar.

Jarak jangkauan dari sensor ditentukan oleh jumlah lilitan, jarak antar lilitan dan diameter kawat yang dipakai. Untuk kawat penghantar dengan diameter d dan jarak antar kawat sebesar Δd , dan jumlah lilitan sebanyak N , maka panjang jangkauan total dari sensor adalah:

$$L = N(d + \Delta d) \quad (1-4)$$

1.15 Sensor Pergeseran Dengan Perubahan Hambatan Kontinu

Penggunaan kawat lilitan mengakibatkan resolusi pergeseran yang dihasilkan yang terbatas pada diameter kawat dan jarak penempatan kawat dalam gulungan. Untuk mendapatkan resolusi yang semakin kecil, maka penggunaan lilitan kawat digantikan dengan penghantar tunggal atau kawat

tunggal. Bahan penghantar dapat dideposisikan di atas substrat yang bersifat isolator. Nilai hambatan ditentukan oleh ketebalan lapisan h dan lebar lapisan l dengan nilai hambatan pada saat pergeseran sejauh x adalah:

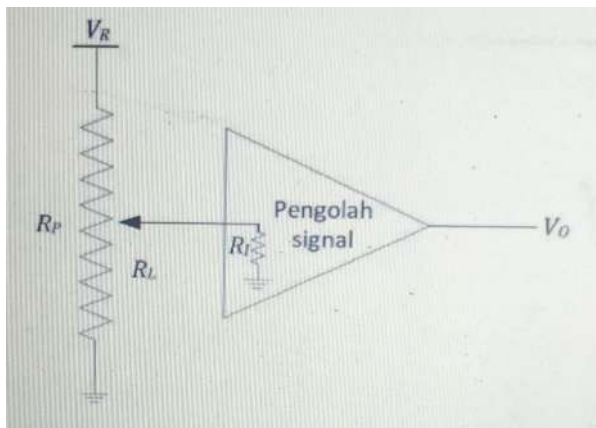
$$R_x = \rho \frac{x}{l x h} \quad (1-5)$$

Teknik deposisi material di atas substrat memungkinkan bahan konduktor di atas permukaan isolator dengan akurasi dan presisi ketebalan dengan lebar yang tetap. Dengan menggunakan persamaan (1.5), maka nilai hambatan total dari sensor dapat diatur dengan memilih hambatan jenis bahan, luas penampang dan panjang. Panjang penghantar menjadi ukuran dari jarak terjauh pada pergeseran yang dapat dideteksi, sehingga parameter yang dipilih adalah hambatan jenis dan luas penampang.

Penggunaan bahan konduktor dalam bentuk lapisan memanjang (melingkar untuk pergeseran sudut) memberikan keuntungan dalam hal resolusi pergeseran. Nilai keluaran hambatan sensor akan berubah secara kontinu dengan perubahan jarak. Sehingga secara teoritis resolusi perubahan posisi dapat dideteksi dengan nilai pendekatan nol. Tetapi penggunaan bahan konduktor dalam bentuk lapisan tipis, menyebabkan sensor memiliki kemampuan disipasi daya yang kecil. Sehingga dalam penggunaannya arus yang dikenakan pada sensor harus diatur, sehingga tidak menimbulkan efek panas. Sensor pergeseran dengan prinsip potensiometer memiliki masalah dengan jarum kontak yang mengalami pergeseran. Gesekan antara jarum dan permukaan lapisan sensor semakin lama akan mengikis pada lapisan sensor, sehingga akan menyebabkan keausan.

1.16 Rangkaian Elektronik Sensor Pergeseran dengan Prinsip Perubahan Hambatan

Sensor pergeseran dengan menggunakan prinsip hambatan biasanya dipergunakan dalam rangkaian pembagi tegangan. Sumber tegangan tetap diberikan pada kedua ujung sensor sebagai sistem hambatan. Keluaran sensor yang berupa tegangan akan diolah dengan pengolah signal atau diukur langsung dengan voltmeter. Sensor memiliki hambatan keluaran yang bersifat variabel dengan nilai hambatan keluaran (R_L) maksimum sebesar R_P . Penggunaan sistem pengukur tegangan dengan impedansi input rendah dapat menyebabkan hasil pembacaan sensor yang salah. Sebaliknya pemberian arus (sumber tegangan) yang terlalu besar akan dapat menyebabkan sensor mengalami pemanasan internal berlebihan.



Gambar 1. 15. Pengubah signal untuk sensor pergeseran

Penggunaan pengolah signal ditujukan agar keluaran sensor dapat diperoleh dengan benar, dan pemberian arus pada sensor tidak menyebabkan efek pemanasan yang dapat merusak sensor. Pengolah signal yang paling mudah adalah sebuah penguat tegangan seperti pada Gambar (1.15). Pengolah signal keluaran atau pembaca tegangan keluaran sensor untuk

mendeteksi tegangan pada umumnya memiliki hambatan masukan (impedansi masukan) yang jauh lebih tinggi dari nilai maksimum dari hambatan sensor. Pemilihan impedansi input penguat yang sesuai merupakan hal yang sangat penting karena dapat menentukan apakah tegangan keluaran yang terdeteksi menyimpang dari yang seharusnya atau tidak.

Misalkan hambatan masukan dari pengolah signal sebesar R_1 , secara teoritis maka tegangan riil yang terukur oleh pengolah signal pada dasarnya akan berkurang dari yang sesungguhnya. Hambatan ekuivalen R_L seperti persamaan (1.6). Dari persamaan tersebut bahwa nilai R'_L selalu lebih kecil dari R_L . Dengan nilai $R'_L = R_L$ untuk $R_1 = \infty$. Sehingga nilai tegangan efektif dari sensor akan selalu lebih kecil dari yang seharusnya.

$$R'_L = \frac{R_L \times R_1}{R_L + R_1} \quad (1-6)$$

Semakin kecil perbandingan nilai R_1/R_P maka factor kesalahan nilai tegangan keluaran akan semakin besar. Untuk mendapatkan kesalahan yang kecil pada nilai impedansi input penguat atau voltmeter minimal 10 kali lebih besar dari nilai hambatan sensor (R_P).

DAFTAR PUSTAKA

- A.J. Fleming, A review of nanometer resolution position sensors: Operation and performance, *Sensors Actuators A Phys.* 190 (2013) 106-126. Doi: 10.1016/j.sna.2012.10.016.
- Badano, A. (2003) 'Principles of Cathode-Ray Tube and Liquid Crystal Display Devices', *Syllabus: a categorical course in diagnostic radiology ...*, 20857 (January 2003), pp. 91-102.
- D.M. Kepeptsoglou, A.Ktena, E. Hristoforou, Magnetic sensor response dependence on hysteresis effects, *Sensors Actuators A Phys.* 119 (2005) 133-137. Doi: 10.1016/j.sna.2004.09.015.
- D.S. Nyce, *Linear Position Sensors*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2003. Doi: 10.1002/0471474282.
- F. Reverter, The Art of Directly Interfacing Sensors to Microcontrollers, *J. Low Power Electron. Appl.* 2 (2012) 265-281. Doi: 10.3390/jlpea2040265.
- J.L. Prieto, C. Aroca, E. Lopez, M.C. Sanchez, P. Sanchez, Reducing hysteresis in magnetostrictive-piezoelectric magnetic sensors, *IEEE Trans. Magn.* 34 (1998) 3913-3915. Doi: 10.1109/20.728303.
- J.H. Huijsing, Integrated smart sensors, *Sensors Actuators A Phys.* 30 (1992).
- J.G. Webster, *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*, CRC Press, 1999.
- Karim, Syaiful, (2016). *Rangkaian Elektronika Sensor dan Aktuator*.
- K. Kalantar-zadeh, *Sensors: An Introductory Course*, Springer US, Boston, MA, 2013. Doi: 10.1007/978-1-4614-5052-8.

- Morris, A. S. (2001) *Measurement & Instrumentation Principles*. Third. Oxford: Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
- O. Baiocchi, A.D. Iot, A Comparison of the Definitions for Smart Sensors, Smart Objects and Things in IoT, (2016).
- Setyawan P. Sakti (2017), *Pengantar Teknologi Sensor: Prinsip Dasar Sensor Besaran Mekanik*, Penerbit UB Press.
- S. Li, X. Zhou, S. Zhang, H. Yao, Q. Li, V. Behravan, A. Natarajan, Z. Hong, P.Y. Chiang, A 0.45V 687pW Low Noise Amplifier Front End With 1.73 NEF for Energy-Scavenging IoT Sensors.
- Sinclair, Ian R. (2001). *'Sensors and Transducers'*. Third Edition. 'Published by Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-4932-1
- Syam, Rafiuddin (2013), *Dasar-dasar Teknik Sensor*. Universitas Hasanuddin- Makassar. ISBN. 978-979-17225-7-5.
- William, D.C. (1985), *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran* (2nd ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- W. Gopel, J. Hesse, J.N. Zemel, eds., *Sensors: A Comprehensive Survey Vol. 1: Fundamentals and General Aspects*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, 1995.
- Yunusa, Z. *et al.* (2014) 'Gas Sensors: A Review', *Sensors & Transducers*, 168 (December 2015), pp. 61–75.

BAB 2

SENSOR RESISTIF

Oleh Mohamad Rifal

Sensor resistif merupakan sensor yang membaca perubahan nilai berdasarkan pada perubahan resistansi listrik pada suatu alat yang umum. Hal tersebut terjadi karena banyaknya jumlah fisik yang mempengaruhi resistansi suatu material. Resistor yang tergantung pada suhu juga dapat mengkompensasi gangguan termal pada sistem yang mengukur kuantitas lainnya.

Sensor resistif bergantung pada variasi resistansi material ketika variabel terukur diterapkan padanya. Prinsip ini paling sering digunakan dalam pengukuran suhu menggunakan termometer atau thermistor resistansi, dan pada pengukuran perpindahan menggunakan alat pengukur regangan atau sensor piezoresistif. Selain itu, beberapa kelembaban bekerja pada prinsip variasi hambatan.

2.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Resistansi/ Hambatan

Resistansi suatu material bergantung pada 4 faktor yaitu :

1. Luas Penampang atau ketebalan
2. Panjang
3. Temperatur
4. Konduktivitas

Berdasarkan prinsip sensor resistif, panjang penghantar berbanding lurus dengan hambatan penghantar dan berbanding terbalik dengan luas penghantar. L dinyatakan untuk panjang konduktor, A untuk luas konduktor, dan R untuk hambatan konduktor. ρ adalah resistivitas dan memiliki nilai konstan untuk material yang digunakan dalam konstruksi konduktor. Persamaannya dapat di tulis sebagai :

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

R adalah hambatan suatu penghantar, A adalah luas penghantar, l adalah panjang penghantar, dan ρ adalah resistivitas penghantar.

Jika diperlukan untuk mengubah resistansi suatu material, maka harus mengubah nilai faktor di atas. Jika panjangnya diubah, perubahan hambatannya bersifat langsung. Menggandakan panjang material juga akan menggandakan resistansinya. Namun, jika luas penampang kawat digandakan, resistivitasnya akan berkurang setengahnya. Mengubah konduktivitas dan suhu tidak akan mempengaruhi resistivitas.

2.2 Beberapa Sensor Resistif

Sensor resistif adalah jenis transduser yang digunakan untuk pengukuran dan mendapatkan hasil output berupa resistansi. Salah satu contoh adalah Piezoresistif yang resistansinya berubah seiring dengan dengan berubahnya tekanan, LDR (Light Dependent Resistor) resistansinya berubah berdasarkan nilai dari intensitas cahaya, dan sebagainya.

2.2.1 LDR (*Light Dependent Resistor*)

LDR merupakan sensor yang mengukur intensitas cahaya, hambatan pada sensor akan besar jika intensitas cahaya yang masuk ke dalam sensor semakin sedikit dan sebaliknya jika intensitas cahaya yang masuk semakin besar maka hambatan (resistansi) akan semakin kecil, nilai dari LDR dihitung berdasarkan satuan ohm. Karakteristik LDR meliputi perilaku pemulihan dan kecepatan spektral. Sensor LDR sering disebut sebagai sensor resistansi yang peka terhadap cahaya. Biasanya terbuat dari kadmium sulfida, sebuah semikonduktor yang mengalami perubahan resistansi sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya. Dengan demikian, peran utama dari LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah untuk mengizinkan aliran arus ketika terpapar pada intensitas cahaya tertentu (kondisi terang) dan menghambat aliran arus pada kondisi gelap atau sebaliknya.

1. Laju Recovery

Jika suatu LDR diletakkan pada suatu ruangan dengan intensitas cahaya tertentu ke dalam ruangan yang gelap, dapat kita amati bahwa nilai resistansi LDR tidak akan serta merta berubah resistansinya di ruangan gelap tersebut. Namun LDR baru bisa mencapai harga bayangan setelah jangka waktu tertentu. Tingkat pemulihan adalah ukuran nilai resistensi aktual dan peningkatannya selama periode waktu tertentu. Nilai ini ditulis dalam K/detik, untuk tipe LDR saat ini harganya lebih tinggi dari 200K/detik (20 menit pertama dari level cahaya 100 lux), kecepatan ini akan lebih tinggi ke arah sebaliknya yaitu bergerak dari tempat gelap ke tempat terang. Diperlukan waktu kurang dari 10 ms untuk mencapai resistansi yang sesuai dengan tingkat kecerahan 400 lux.

2. Respon Spektral

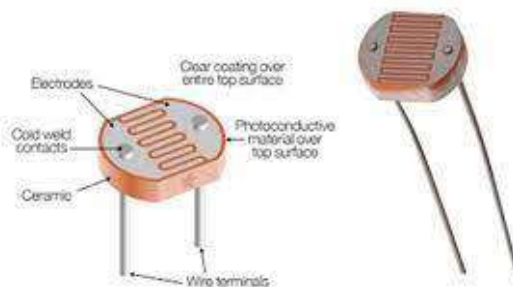
Sensor LDR merespons berbagai spektrum cahaya dalam lingkungan sekitarnya. Meskipun secara khusus dirancang untuk merespons pada spektrum cahaya

tertentu, sensor LDR cenderung lebih sensitif terhadap cahaya tampak atau yang berada dalam rentang spektrum visible light.

Perubahan resistansi pada sensor LDR lebih kuat dipengaruhi oleh cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek, yang termasuk dalam rentang biru dan ungu pada spektrum cahaya tampak. Cahaya dengan panjang gelombang yang lebih panjang, seperti dalam rentang merah dan infra merah, mungkin memiliki pengaruh yang lebih kecil terhadap perubahan resistansi sensor LDR.

Namun, sensitivitas sensor LDR terhadap berbagai panjang gelombang cahaya dapat bervariasi berdasarkan jenis dan spesifikasinya. Ada beberapa jenis sensor LDR yang dirancang khusus untuk merespons pada panjang gelombang tertentu, sementara yang lainnya memiliki respons yang lebih umum terhadap spektrum cahaya visible secara keseluruhan.

Sensor LDR tidak menunjukkan respons yang serupa terhadap setiap variasi panjang gelombang cahaya yang diterimanya. Beberapa bahan yang sering digunakan untuk pembuatan kabel listrik meliputi tembaga, aluminium, baja, emas, dan perak. Di antara pilihan bahan tersebut, tembaga adalah material konduktif yang paling umum digunakan karena memiliki kemampuan konduktivitas listrik yang sangat baik.



Gambar 2. 1. LDR (*Light Dependent Resistor*)

Prinsip pengoperasian sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistance*) adalah resistansi sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistance*) akan berubah sesuai dengan perubahan intensitas cahaya yang menyinari atau di sekitarnya. Dalam kondisi gelap, resistansi LDR kira-kira 10 M Ω dan dalam kondisi terang 1 K Ω atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti kadmium sulfida. Dengan bahan ini, energi cahaya datang menyebabkan muatan yang dilepaskan menjadi lebih besar atau arusnya bertambah, artinya hambatan bahan tersebut berkurang.

2.2.2 Piezoresistif

Piezoresistif adalah sensor yang mengubah tekanan menjadi resistensi. Semakin banyak tekanan yang diterapkan, semakin banyak resistensi yang tercipta. Efek piezoresistif menggambarkan perubahan resistivitas semikonduktor akibat tegangan operasi yang diterapkan. Efek piezoresistif berbeda dengan efek piezoelektrik. Efek piezoresistif hanya menyebabkan perubahan hambatan listrik, tidak menghasilkan gaya listrik.

Misalnya, Lord Kelvin menemukan perubahan resistansi perangkat mekanis akibat tekanan mekanis pada tahun 1856. Karena silikon monokristalin menjadi bahan pilihan untuk desain sirkuit analog dan digital, efek piezoresistif silikon dan germanium pertama kali ditemukan pada tahun 1954.

Prinsip piezoresistif dalam semikonduktor terjadi melalui modifikasi jarak antara atom yang disebabkan oleh tegangan, memengaruhi celah pita atau band gaps. Ini memudahkan atau mempersulit - tergantung pada jenis material dan regangan - pergerakan elektron ke dalam pita konduksi. Akibatnya, terjadi perubahan nilai resistansi pada semikonduktor. Nilai dari piezoresistif didefinisikan oleh :

$$\sum \rho = \frac{\partial \rho \times \rho}{\epsilon}$$

Dimana :

$\partial \rho$ = Perubahan resistivitas

ρ = resistivitas Asli

ϵ = Strain

Teknologi piezoresistif memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap resistensi akibat perubahan geometri yang sederhana, dan bahan semikonduktor dapat dimanfaatkan untuk menciptakan sensor regangan yang lebih responsif. Meski demikian, sensor tersebut cenderung lebih rentan terhadap pengaruh kondisi lingkungan, terutama perubahan suhu.

2.2.3 Resistensi perubahan pada logam

Tingkat ketepatan informasi pada resistensi perubahan pada logam masih menjadi topik perdebatan. Perubahan dalam resistensi logam disebabkan oleh perubahan bentuk geometris akibat gaya mekanik yang bekerja, dan bisa dihitung menggunakan persamaan resistansi sederhana yang berasal dari prinsip hukum Ohm:

$$R = \rho x / A$$

2.2.4 Efek Piezoresistif

Efek piezoresistif adalah fenomena di mana resistivitas atau hambatan elektrik dari sebuah material berubah ketika material tersebut mengalami tekanan atau regangan mekanik. Efek ini sering ditemui dalam semikonduktor.

Efek piezoresistif merujuk pada perubahan resistivitas atau hambatan elektrik pada suatu materi atau benda ketika terkena tekanan atau regangan mekanik. Fenomena ini umumnya terjadi pada semikonduktor

Pada semikonduktor, ketika materi tersebut mengalami tekanan, struktur atom atau kisi kristalnya berubah, mempengaruhi pergerakan pembawa muatan seperti elektron dan lubang. Perubahan ini mengakibatkan perubahan pada hambatan listrik material.

Terdiri dari dua jenis utama dalam semikonduktor:

1. Efek Piezoresistif Positif: Beberapa materi semikonduktor menunjukkan peningkatan hambatan saat ditekan. Ini disebut sebagai efek piezoresistif positif. Peningkatan hambatan bisa disebabkan oleh peningkatan hambatan saluran elektron atau perubahan mobilitas elektron karena perubahan struktur kristal akibat tekanan.
2. Efek Piezoresistif Negatif: Pada materi lain, tekanan dapat mengurangi hambatan. Ini dikenal sebagai efek piezoresistif negatif. Ketika materi ditekan, perubahan struktur kristal menyebabkan pengurangan hambatan.

Aplikasi efek piezoresistif meliputi penggunaannya dalam sensor tekanan, akselerometer, dan perangkat sensor lainnya. Dalam konteks praktis, perubahan resistansi sebagai respons terhadap tekanan atau regangan digunakan untuk mengukur besaran fisik tertentu atau memantau perubahan lingkungan. Misalnya, pada sensor tekanan, perubahan resistansi diukur sebagai respons terhadap tekanan yang diterapkan pada sensor, dan informasi ini dapat diubah menjadi sinyal listrik terukur yang mewakili tekanan yang diterapkan.



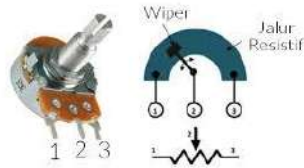
Gambar 2. 2. Piezoresistor

2.2.5 PotensioMeter

Johann Christian Poggendorff adalah orang yang pertama kali menciptakan potensiometer sekitar tahun 1841. Potensiometer memiliki kemampuan untuk mengubah resistansi atau hambatan, oleh karena itu sering digunakan dalam berbagai rangkaian dan peralatan elektronika.

Potensiometer merupakan sensor tipe resistif yang nilai resistansinya dapat divariasikan atau disesuaikan. Potensiometer mempunyai 3 terminal, 2 terminal dihubungkan dengan 2 terminal elemen resistor dan terminal ketiga dihubungkan dengan kontak geser yang disebut wiper atau tuas. Posisi tuas menentukan tegangan keluaran potensiometer. Potensiometer pada dasarnya bertindak sebagai pembagi tegangan variabel. Elemen resistor dapat diibaratkan sebagai dua resistor yang dirangkai secara seri, dimana posisi tuas menentukan perbandingan resistansi resistor pertama dengan resistor kedua.

Potensiometer disebut juga potmeter atau pot. Bentuk potmeter yang paling umum adalah potmeter putar. Potensiometer jenis ini biasa digunakan dalam pengatur volume audio dan banyak aplikasi lainnya. Elemen resistif dari potensiometer biasanya terbuat dari bahan seperti karbon, cermet, kumparan, plastik konduktif atau film logam.

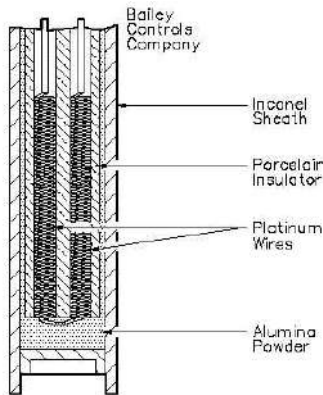


Gambar 2. 3. PotensioMeter

2.2.6 Sensor RTD (*Resistance Temperature Detectors*)

RTD merupakan kependekan dari Resistance Temperature Detector, adalah sensor suhu yang menggunakan konsep perubahan resistansi atau hambatan listrik dari sebuah logam yang dipengaruhi oleh fluktuasi suhu. Sebagai salah satu jenis sensor suhu paling umum, RTD sering digunakan dalam sistem otomatisasi dan kontrol proses.

Pada varian kawat yang dililit atau varian standarnya, RTD terbuat dari kawat yang tahan terhadap korosi, dililitkan di sekitar substrat keramik atau kaca, dan kemudian ditutup dengan penutup pelindung pada probe-nya. Material rumah probe ini umumnya terbuat dari logam Inconel, sebuah paduan yang terdiri dari besi, kromium, dan nikel. Inconel dipilih sebagai paket RTD karena tahan korosi dan bila ditempatkan di lingkungan cair atau gas, paket Inconel cepat mencapai suhu lingkungan. Di antara kabel RTD dan penutupnya juga terdapat lapisan keramik (porselen) untuk mencegah terjadinya arus pendek antara kabel platina dan penutup pelindung. Lihatlah gambar di bawah ini.



Gambar 2. 4. Sensor RTD

Jenis logam yang digunakan untuk kawat RTD adalah platina. Kabel RTD biasanya terbuat dari tembaga dan nikel. Namun, platinum adalah bahan yang paling umum digunakan karena menawarkan akurasi yang lebih baik dan rentang suhu yang lebih luas.

Ketika suhu elemen RTD naik, resistansinya juga mengalami peningkatan. Secara sederhana, kenaikan temperatur logam yang membentuk elemen resistif RTD sejalan dengan kenaikan resistansinya. Elemen RTD umumnya dikalibrasi berdasarkan resistansinya pada suhu 0 derajat Celcius (0°C). Standar yang umum untuk RTD adalah $100\ \Omega$ (RTD PT100), yang berarti pada suhu 0°C , elemen RTD seharusnya memiliki resistansi sebesar $100\ \Omega$.

Pada kenyataannya arus akan melewati elemen RTD (elemen resistif) yang diletakkan di wilayah atau zona di mana suhu hendak diukur. Kemudian, nilai resistansi RTD akan diukur menggunakan perangkat pengukur yang akan menunjukkan nilai suhu yang akurat. Informasi suhu ini diturunkan dari sifat karakteristik resistansi RTD yang telah diketahui sebelumnya.

Cara umum untuk mengukur suhu menggunakan RTD adalah dengan mengukur resistansi material sensor menggunakan konfigurasi jembatan Wheatstone atau sirkuit pengukuran lainnya. Perubahan resistansi yang diukur dikonversi menjadi nilai suhu berdasarkan karakteristik khusus dari material RTD yang digunakan. Biasanya, ini melibatkan penggunaan tabel kalibrasi atau persamaan matematis yang menghubungkan perubahan resistansi dengan suhu yang tepat.

Keuntungan sensor RTD meliputi kestabilan yang tinggi, keakuratan yang baik, serta respon yang linier terhadap perubahan suhu. Namun, mereka cenderung lebih mahal dibandingkan dengan sensor suhu berbasis termokopel atau termistor.

Sensor RTD sering digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan pemantauan suhu yang akurat dan stabil, seperti dalam industri farmasi, makanan dan minuman, peralatan laboratorium, sistem kontrol suhu, dan aplikasi industri lainnya di mana akurasi suhu yang konsisten sangat penting

DAFTAR PUSTAKA

- Carstens, J. R. (1993). *Electrical sensors and transducers*. Pearson Education India.
- Dwisafitri, A., Darmawan, D., & Qurthobi, A. (2019). Pengukuran Kapasitansi Dan Resistansi Untuk Pendeteksian Lubang Pada Kayu. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- Fiorillo, A. S., Critello, C. D., & Pullano, S. A. (2018). Theory, technology and applications of piezoresistive sensors: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 281, 156-175.
- Saggio, G., Riillo, F., Sbernini, L., & Quitadamo, L. R. (2015). Resistive flex sensors: a survey. *Smart Materials and Structures*, 25(1), 013001.
- Sakti, S. P. (2017). *Pengantar Teknologi Sensor: Prinsip Dasar Sensor Besaran Mekanik*. Universitas Brawijaya Press.
- Setiawan, I. (2009). Buku Ajar Sensor dan Transduser.
- Sendari, E. S., Wirawan, I. M., & Nasrulloh, M. (2021). *Sensor Transduser*. Ahlimedia Book.
- Supatmi, S. (2011). Pengaruh sensor LDR terhadap pengontrolan lampu. *Majalah Ilmiah UNIKOM*.
- Zulkarnain, Z. (2022). *Sistem Monitoring Pelayuan Teh Hijau Berbasis Internet Of Things (Iot)* (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).

BAB 3

SENSOR INDUKTIF

Oleh Fahmy Rinanda Saputri

3.1 Pendahuluan

Sebuah sensor umumnya dijelaskan sebagai "perangkat yang menerima dan merespons sinyal atau stimulus." (Fraden, 2016). Sensor merupakan suatu perangkat atau instrumen yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur, atau memantau perubahan dalam lingkungan fisik atau parameter tertentu. Tugas utama sensor adalah mengonversi sinyal fisik menjadi data yang dapat diinterpretasikan oleh manusia atau sistem. Sensor digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari teknologi medis hingga otomasi industri, memberikan informasi kritis yang memungkinkan pengambilan keputusan yang efektif dan otomatisasi proses.

Dalam proses sensor, yang umumnya mengubah efek non-elektrik menjadi sinyal elektrik, diperlukan satu atau lebih langkah transformasi sebelum sinyal listrik dapat dihasilkan. Langkah-langkah ini melibatkan perubahan jenis energi atau properti fisik material, dengan langkah terakhir menghasilkan sinyal listrik dalam format yang diinginkan. Seperti yang telah dijelaskan, terdapat dua jenis sensor utama: langsung dan kompleks. Sensor langsung mampu langsung mengonversi stimulus non-elektrik menjadi sinyal listrik, sedangkan banyak stimulus memerlukan beberapa langkah konversi (Fraden, 2016). Selanjutnya, akan diuraikan berbagai efek fisik yang dapat digunakan untuk mengonversi stimulus secara langsung menjadi sinyal listrik. Semua efek tersebut didasarkan pada prinsip-

prinsip fisika yang mendasar, dan dalam tulisan ini, prinsip-prinsip tersebut akan dibahas lebih lanjut.

Beberapa jenis sensor yang umumnya digunakan didasarkan pada prinsip-prinsip fisik tertentu. Kapasitansi melibatkan pengukuran kapasitansi untuk mendeteksi perubahan lingkungan, seperti pada teknologi layar sentuh. Sensor magnetis fokus pada sifat magnetik untuk deteksi atau pengukuran medan magnet. Sensor induktif beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan digunakan untuk mendeteksi benda logam. Resistansi mengukur perubahan resistansi sebagai respons terhadap stimulus fisik, diterapkan dalam sensor tekanan dan deformasi. Efek piezoelektrik memanfaatkan materi piezoelektrik yang menghasilkan muatan listrik saat dikenakan tekanan, berguna dalam sensor tekanan dan akselerometer. Efek polielektrik, serupa dengan piezoelektrik, melibatkan perubahan muatan listrik pada materi dielektrik saat dikenakan tegangan mekanis. Efek Hall digunakan untuk mendeteksi medan magnet atau mengukur arus listrik dalam medan magnet. Efek termoelektrik memanfaatkan potensial listrik yang dihasilkan saat dua titik dengan suhu berbeda dihubungkan, digunakan dalam sensor suhu.

Dalam bab ini, akan diuraikan lebih spesifik mengenai sensor induktif, sebuah jenis sensor yang dapat mendeteksi benda logam tanpa perlu kontak fisik langsung. Akan dibahas prinsip operasinya, struktur, aplikasi umum, keuntungan, keterbatasan, pertimbangan desain, hingga perkembangan terkininya.

3.2 Prinsip Induktif

Pada tahun 1831, Michael Faraday di Inggris dan Joseph Henry di Amerika Serikat menemukan salah satu fenomena elektromagnetisme yang paling mendasar: kemampuan perubahan medan magnet untuk menghasilkan aliran listrik dalam kawat. Karakteristik nonspesifik medan magnet, apakah

berasal dari magnet permanen atau solenoid, tidak mempengaruhi efeknya; yang penting adalah bahwa arus listrik muncul saat medan magnet berubah. Tidak ada arus yang dihasilkan ketika medan magnet tetap stabil. Hukum induksi Faraday menyatakan bahwa tegangan yang dihasilkan, atau gaya elektromotif (e.m.f.), sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik melalui rangkaian. Jika laju perubahan tersebut dalam Wb/s, maka e.m.f. ($\mathcal{E}$) akan dalam satuan volt:

$$\mathcal{E} = - \frac{d(n\Phi_B)}{dt}. \quad (1)$$

Tanda minus merupakan indikasi arah e.m.f. yang diinduksi. Jika fluks magnetik yang bervariasi diterapkan pada suatu solenoid, e.m.f. muncul pada setiap lilitan dan semua e.m.f. ini harus dijumlahkan. Jika suatu kumparan dibentuk sedemikian rupa sehingga setiap lilitannya memiliki luas penampang yang sama, fluks melalui setiap lilitan akan sama, maka tegangan yang diinduksi adalah:

$$V = -N \frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (2)$$

di mana N adalah jumlah lilitan. Persamaan ini dapat ditulis ulang dalam bentuk:

$$V = -N \frac{d(BA)}{dt}. \quad (3)$$

- Persamaan ini menunjukkan bahwa tegangan dalam suatu rangkaian pick-up dapat dihasilkan baik dengan mengubah amplitudo medan magnet (B) maupun dengan mengubah luas rangkaian (A). Oleh karena itu, tegangan yang diinduksi bergantung pada beberapa faktor, antara lain:

- Variasi arus dalam kumparan atau kawat yang menghasilkan medan magnet.
- Perubahan geometri rangkaian pick-up, seperti merentangkan atau merapatkan, atau mengubah jumlah lilitan dalam suatu kumparan.
- Perpindahan sumber medan magnet (seperti magnet, kumparan, atau kawat) terhadap kumparan penerima.
- Perubahan orientasi sumber magnetik terhadap rangkaian pick-up.

Apabila arus listrik mengalir melalui satu kumparan yang berdekatan dengan kumparan lainnya, sesuai dengan prinsip Faraday, e.m.f. akan timbul pada kumparan kedua. Namun, medan magnet tidak hanya menembus kumparan kedua, melainkan juga kumparan pertama. Dengan demikian, medan magnet menghasilkan e.m.f. di kumparan yang sama tempat ia berasal. Fenomena ini dikenal sebagai induksi diri (self-induction), dan tegangan yang timbul disebut sebagai e.m.f. yang diinduksi sendiri. Hukum Faraday untuk bagian tengah suatu solenoid dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\nu = - \frac{d(n\Phi_B)}{dt}. \quad (4)$$

Angka dalam tanda kurung disebut sebagai keterhubungan fluks dan merupakan karakteristik penting dari perangkat tersebut. Untuk suatu kumparan sederhana tanpa material magnet di sekitarnya, nilai ini sebanding dengan arus yang melalui kumparan.

$$n\Phi_B = Li, \quad (5)$$

di mana L adalah konstanta proporsionalitas yang disebut induktansi kumparan. Maka, Persamaan (4) dapat ditulis ulang sebagai

$$\mathcal{V} = - \frac{d(n\Phi_B)}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (6)$$

Dari persamaan ini, kita dapat mendefinisikan induktansi sebagai

$$L = - \frac{\mathcal{V}}{\frac{di}{dt}} \quad (7)$$

Jika tidak ada material magnet yang diperkenalkan di sekitar suatu induktor (sebuah perangkat yang memiliki induktansi), nilai yang didefinisikan oleh Persamaan (7) hanya bergantung pada geometri perangkat tersebut. Satuan SI untuk induktansi adalah volt-detik/ampere, yang dinamai berdasarkan fisikawan Amerika Joseph Henry (1797–1878): 1 H = 1 V·s/A. Singkatan untuk henry adalah H.

Beberapa kesimpulan dapat ditarik dari Persamaan (6), yaitu tegangan yang diinduksi dalam suatu induktor memiliki sifat-sifat khas yang dapat dijelaskan oleh hukum induksi elektromagnetik. Pertama, tegangan yang diinduksi sebanding dengan laju perubahan arus yang mengalir melalui induktor. Hal ini berarti semakin cepat perubahan arus, semakin besar tegangan yang dihasilkan. Kedua, tegangan pada dasarnya nol untuk arus searah, karena tidak ada perubahan arus yang dapat menginduksi tegangan pada keadaan stabil ini. Ketiga, tegangan meningkat secara linear dengan laju perubahan arus, menunjukkan hubungan proporsional antara keduanya. Selanjutnya, polaritas tegangan berbeda untuk arus yang meningkat dan menurun yang mengalir dalam arah yang sama, mencerminkan sifat arus yang mempengaruhi perubahan medan magnet yang menginduksi tegangan. Terakhir, tegangan yang diinduksi selalu memiliki arah yang melawan perubahan arus, sesuai dengan prinsip bahwa medan magnet yang timbul berlawanan dengan perubahan arus yang menyebabkannya.

Seperti kapasitansi, induktansi dapat dihitung dari faktor-faktor geometris. Untuk kumparan yang rapat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, induktansi adalah

$$L = \frac{n\Phi_B}{i}. \tag{8}$$

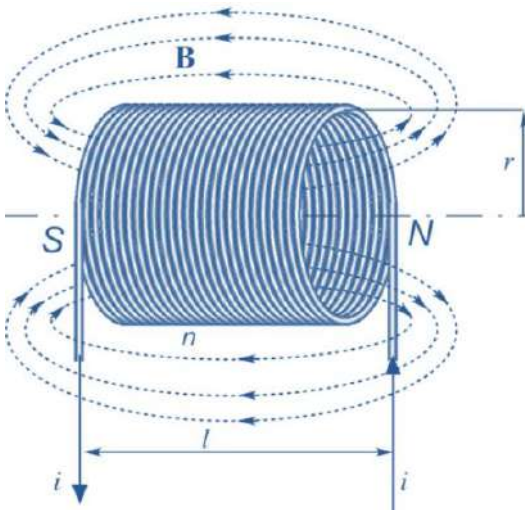
Jika n adalah jumlah lilitan per satuan panjang, jumlah keterhubungan fluks dalam panjang kumparan, l , adalah

$$N\Phi_B = (nl) \cdot (BA), \tag{9}$$

di mana A adalah luas penampang kumparan. Untuk solenoid tanpa inti magnetik, $B = \mu_0 ni$, maka induktansi kumparan adalah

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \mu_0 n^2 l A. \tag{10}$$

Perlu dicatat bahwa lA adalah volume dari solenoid yang sering disebut G —sebuah faktor geometri.



Gambar 3. 1. Solenoid atau kumparan
Sumber: (Fraden, 2016)

Jika sebuah inti magnetik dimasukkan ke dalam ruang dalam solenoid, induktansi akan tergantung pada dua faktor tambahan: permeabilitas magnetik relatif, μ_r , dari bahan inti dan g , faktor geometri inti, g :

$$L = \mu_0 \mu_r n^2 g G \quad (11)$$

Faktor g tergantung pada ukuran dan bentuk inti magnetik, kedalaman penyisipan, dan kedekatan ke ujung-ujung solenoid. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa permeabilitas magnetik relatif μ_r dari suatu bahan ferromagnetik berubah dengan arus i , oleh karena itu, Persamaan (11) memerlukan koefisien koreksi η_i yang merupakan fungsi dari arus yang melewati kumparan solenoid yang memiliki inti magnetik (tanpa inti $\mu_r = \eta_i = 1$):

$$L = \mu_0 \mu_r n^2 \eta_i g G \quad (12)$$

Pernyataan ini menunjukkan bahwa induktansi L dapat dimodulasi oleh setiap faktor di sebelah kanannya (kecuali μ_0 yang merupakan konstanta universal): jumlah giliran kumparan dapat bervariasi, semua dimensi kumparan dapat diubah, bentuk dan kedalaman inti dapat diubah, dan bahkan bahan inti dapat dimodifikasi. Hal ini membuat sensor induktif sangat berguna dalam banyak aplikasi, misalnya, untuk mengukur perpindahan untuk mendeteksi gaya, tekanan, posisi, dan variabel lainnya.

Ketika dihubungkan ke dalam rangkaian elektronik, induktansi dapat diwakili sebagai "resistansi kompleks" dengan persamaan:

$$\frac{V}{i} = j\omega L, \quad (13)$$

di mana $j = \sqrt{-1}$ dan I adalah arus sinusoidal dengan $\omega = 2\pi f$ adalah frekuensi sudut, yang berarti bahwa resistansi kompleks induktor meningkat pada frekuensi yang lebih tinggi. Ini disebut

hukum Ohm untuk induktor. Notasi kompleks menunjukkan bahwa arus tertinggal di belakang tegangan sebesar 90° dan dengan demikian kumparan disebut sebagai komponen reaktif.

Jika dua kumparan diletakkan dekat satu sama lain dan satu kumparan menghantarkan arus listrik, medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan tersebut berinteraksi dengan elektron di kumparan kedua dan menginduksi gaya elektromotif (e.m.f.) di dalamnya:

$$v_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (14)$$

di mana M_{21} adalah koefisien induktansi saling antara dua kumparan. Perhitungan induktansi saling bukanlah latihan yang sederhana dan dalam banyak kasus praktis, dapat lebih mudah dilakukan secara eksperimental. Namun, untuk beberapa kombinasi yang relatif sederhana, induktansi saling telah dihitung. Sebagai contoh, sebuah kumparan dengan N giliran yang ditempatkan di sekitar solenoid panjang, dengan n giliran per satuan panjang, induktansi salangnya diberikan oleh:

$$M = \mu_0 \pi R^2 n N, \quad (15)$$

di mana R adalah diameter solenoid.

Jika dua kumparan diletakkan dekat satu sama lain, induktansi saling mereka dapat diungkapkan sebagai:

$$M_{12} = N_1 N_2 P_{21}, \quad (16)$$

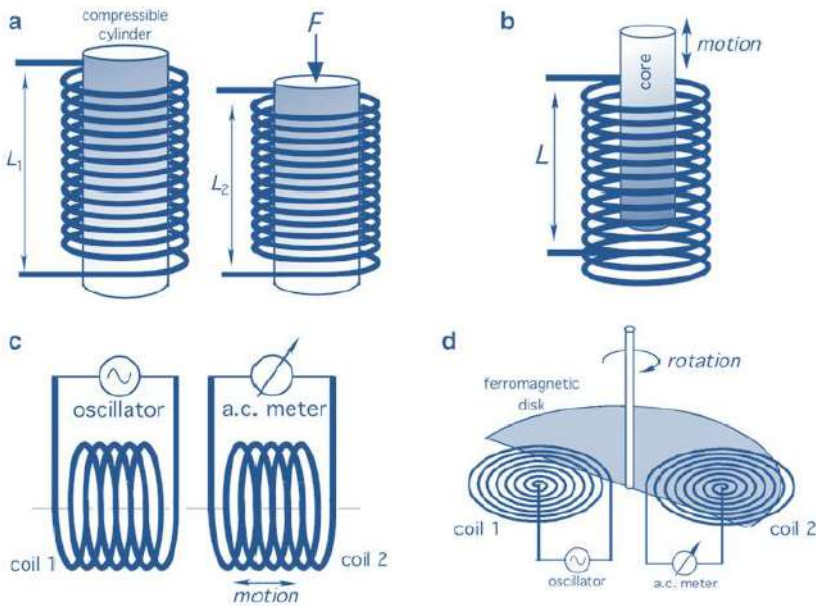
di mana N_1 dan N_2 adalah jumlah giliran pada kumparan pertama dan kedua, sementara P_{21} adalah permanen dari ruang di mana fluks magnetik merambat. Arti dari permanen mirip dengan resistansi listrik tetapi digunakan untuk fluks magnetik. Ini berbanding lurus dengan permeabilitas magnetik bahan yang

menghubungkan kumparan dan geometrinya, sehingga membentuk dasar untuk merancang banyak sensor yang berguna.

Cara lain yang berguna untuk menyatakan induktansi saling adalah melalui induktivitas kumparan dan koefisien kopling $0 \leq k \leq 1$:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (17)$$

Untuk memberikan ilustrasi tentang bagaimana induktansi kumparan dan induktansi saling dapat diterapkan dalam sensor, terdapat empat desain konseptual yang ditampilkan dalam Gambar 3.2. Dalam skenario di mana kumparan dibungkus di sekitar silinder yang fleksibel dengan mekanisme pegas, sesuai dengan Persamaan (12), geometri kumparan G dapat diubah dengan menerapkan gaya eksternal F pada inti (lihat Gambar 3.2a). Proses ini mengakibatkan variasi dalam induktansi kumparan L . Apabila kumparan ini merupakan bagian dari osilator LC elektronik, gaya yang diterapkan F akan mempengaruhi modulasi frekuensi keluaran.



Gambar 3. 2. Contoh-contoh sensor dengan kumparan. Kumparan dengan geometri yang berubah (a), solenoid dengan inti yang bergerak (b), dua kumparan yang bergerak (c), dan kumparan mutual induktansi variabel (d).

Sumber: (Fraden, 2016)

Sebuah solenoid memiliki kemampuan untuk memiliki inti ferromagnetik yang dapat bergerak di dalamnya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.2b. Dengan pergerakan inti, sesuai dengan Persamaan (12), faktor g akan mengalami variasi karena hanya sebagian inti yang berada di dalam solenoid yang memodulasi induktansi solenoid. Oleh karena itu, semakin dalam inti dimasukkan, semakin tinggi nilai induktansi. Pada Gambar 3.2c, terlihat kumparan yang dapat bergerak bersama-sama. Kumparan kiri diumpankan oleh sinyal eksitasi dari osilator, dan kumparan keluaran akan menghasilkan tegangan AC sebanding dengan kopling kumparan, karena perubahan dalam P_{21} dalam Persamaan (16) memodulasi induktansi saling. Cara lain untuk memodulasi kopling kumparan diilustrasikan pada Gambar 3.2d, di mana dua kumparan dihubungkan melalui semidisk

ferromagnetik yang dapat bergerak (berputar) - media kopling. Kopling mencapai nilai maksimumnya ketika area tumpang tindih dari semidisk dengan kedua kumparan paling besar, sementara kopling paling rendah terjadi ketika tidak ada bahan ferromagnetik yang ditempatkan di atas kumparan mana pun.

3.2.1 Hukum Lenz

Dalam berbagai aplikasi sensor yang menggunakan induktansi, penting untuk selalu mempertimbangkan bahwa arus yang dihasilkan dalam kumparan sekunder akan menciptakan medan magnet sendiri yang berlawanan dengan kumparan primer. Fenomena ini dikenal sebagai Hukum Lenz, yang menyatakan bahwa arus yang diinduksi akan muncul dalam suatu arah sedemikian rupa sehingga bertentangan dengan arus yang menyebabkannya. Tanda minus dalam Persamaan (1) menandakan adanya resistensi atau hambatan terhadap arus tersebut.

Jadi, arus yang dihasilkan oleh induksi cenderung menentang arus dari kumparan primer. Hukum Lenz dapat dibandingkan dengan Hukum Ketiga Gerak Newton, di mana setiap tindakan selalu diikuti oleh reaksi yang sebanding tetapi berlawanan. Hukum Lenz khususnya berlaku untuk arus yang diinduksi dan hanya berlaku dalam rangkaian konduksi tertutup. Penting untuk dicatat bahwa keberlawanan fluks magnetik dalam suatu kumparan akan mengurangi induktansinya. Hukum Lenz memiliki berbagai aplikasi, termasuk dalam pengereman elektromagnetik, kompor induksi, detektor logam, dan berbagai penggunaan lainnya. (Fraden, 2016).

3.2.2 Arus Eddy

Arus eddy, juga dikenal sebagai arus Foucault, adalah fenomena listrik yang pertama kali ditemukan oleh fisikawan Prancis Le'on Foucault pada tahun 1851. Fenomena ini terjadi dalam dua situasi: (1) ketika suatu penghantar terpapar pada

perubahan medan magnet karena adanya gerakan relatif antara sumber medan dan penghantar, dan (2) karena perubahan intensitas medan magnet itu sendiri. Dalam kedua kasus tersebut, terjadi aliran sirkulasi elektron atau arus melingkar di dalam bahan penghantar, yang dapat bersifat magnetis atau tidak. Arus eddy ini mengalir dalam bidang yang tegak lurus terhadap fluks magnetik, terutama sejajar dengan lilitan kumparan yang menginduksi arus tersebut. Konsentrasi arus eddy cenderung terjadi di dekat permukaan penghantar yang berdekatan dengan kumparan eksitasi, dengan kekuatannya menurun seiring dengan jarak dari kumparan. Fenomena ini dikenal sebagai efek kulit.

Arus eddy yang beredar menciptakan medan magnet yang melawan perubahan medan magnetik asli sesuai dengan Hukum Lenz. Ini menghasilkan gaya tolak atau tarik antara penghantar dan magnet atau kumparan induksi. Semakin besar medan magnet yang diterapkan, semakin tinggi konduktivitas listrik penghantar, atau semakin cepat perubahan medan yang terpapar oleh penghantar, maka semakin besar arus eddy yang terbentuk dan semakin besar pula medan yang melawannya. Efek kulit terjadi ketika arus eddy yang mengalir dalam objek uji menghasilkan medan magnet yang melawan medan primer, mengurangi fluks magnetik bersih dan menyebabkan penurunan arus seiring dengan peningkatan kedalaman. Secara alternatif, arus eddy di dekat permukaan dapat dianggap sebagai perisai medan magnet kumparan, melemahkan medan magnet pada kedalaman yang lebih besar dan mengurangi arus yang diinduksi (Fraden, 2016).

3.3 Struktur Sensor

Struktur dari sensor induktif melibatkan beberapa komponen utama, terutama kumparan induktor dan material inti feromagnetik. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut:

1. Kumparan Induktor: Kumparan induktor adalah elemen utama yang terlibat dalam sensor induktif. Kumparan ini umumnya terbuat dari kawat konduktif dan dibentuk dalam bentuk kumparan. Kumparan ini ditempatkan di sekitar atau dekat dengan material inti feromagnetik. Ketika medan magnet berubah di sekitar kumparan, induksi listrik terjadi di dalamnya sesuai dengan hukum elektromagnetik Faraday.
2. Material Inti Feromagnetik: Material inti feromagnetik berfungsi untuk meningkatkan respons sensor terhadap perubahan medan magnet eksternal. Inti feromagnetik biasanya terbuat dari bahan seperti besi atau nikel yang memiliki sifat magnetis yang kuat. Keberadaan inti feromagnetik membantu dalam meningkatkan induktansi kumparan dan memfokuskan garis-garis medan magnet, sehingga meningkatkan sensitivitas sensor terhadap perubahan medan.
3. Pelindung dan Pengemasan: Untuk melindungi komponen internal dari kerusakan mekanis dan lingkungan eksternal, sensor induktif seringkali dilengkapi dengan pelindung dan pengemasan. Pelindung ini dapat berupa bahan yang tahan terhadap kelembaban, debu, dan faktor lingkungan lainnya.



Gambar 3. 3. Sensor Induktif norm switching distances, IO-Link 1150

Sumber: (IPF Electronic, 2016)

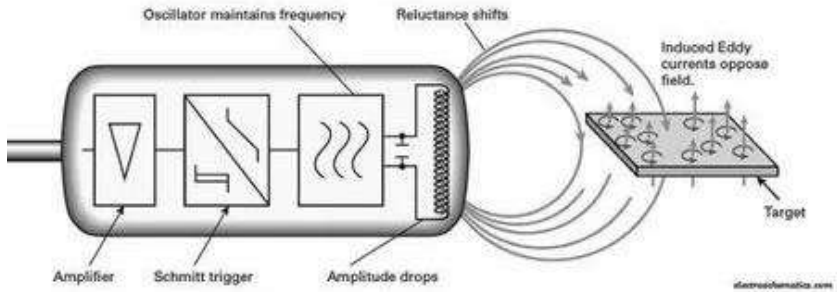
4. Terminal atau Sirkuit Elektronik Tambahan: Sensor induktif mungkin juga dilengkapi dengan terminal atau sirkuit elektronik tambahan tergantung pada aplikasi dan kebutuhan spesifik. Sirkuit ini dapat digunakan untuk memproses sinyal yang dihasilkan oleh kumparan, mengukur perubahan induktansi, dan mengonversinya menjadi bentuk output yang berguna.

3.4 Pertimbangan Desain

Dalam mendesain prototipe menggunakan sensor induktif, perlu memperhatikan beberapa hal, seperti:

1. Jarak Deteksi: Jarak deteksi merupakan faktor yang harus dipertimbangkan dalam merancang sistem dengan sensor induktif. Jarak ini mengacu pada seberapa jauh sensor mampu mendeteksi objek atau benda logam. Penting untuk memilih sensor dengan jarak deteksi yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Jarak deteksi yang terlalu pendek atau terlalu panjang dapat mengakibatkan performa yang tidak optimal.
2. Sensitivitas: Sensitivitas sensor induktif berkaitan dengan kemampuannya mendeteksi perubahan dalam medan magnet atau objek logam. Pemilihan sensor dengan sensitivitas yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi dapat memastikan respons yang akurat dan dapat diandalkan. Ketidaksesuaian sensitivitas dapat mengakibatkan ketidakmampuan sensor dalam mendeteksi objek atau memberikan respons yang salah. Sensor jarak induktif mengadopsi prinsip serupa dengan penggunaan arus Eddy untuk mendeteksi keberadaan benda logam. Mereka menilai perubahan arus Eddy yang dihasilkan dalam objek saat ini, dan menghasilkan keluaran sinyal yang sesuai. Meskipun, mengukur arus Eddy di sekitar objek merupakan tugas yang kompleks. Oleh karena itu, sensor jarak induktif juga dilengkapi dengan rangkaian yang

kompleks di dalamnya untuk memproses sinyal dan memberikan keluaran yang akurat.



Gambar 3. 4. Cara sensor proksimiti induksi mendeteksi logam

Sumber: (Naufal, n.d.)

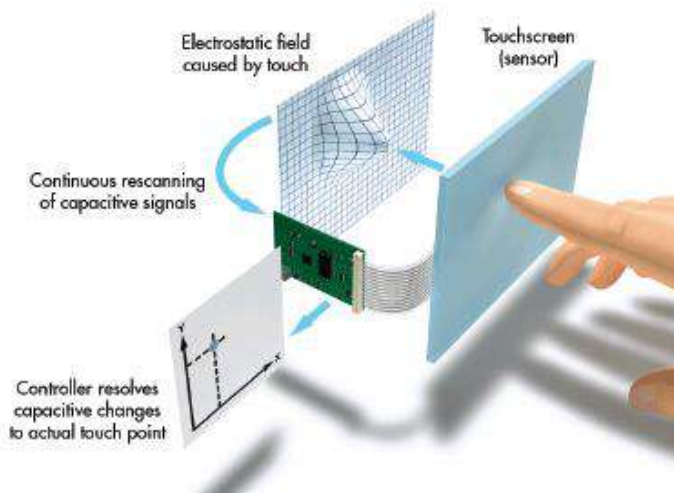
3. Lingkungan Operasional: Kondisi lingkungan operasional adalah pertimbangan penting dalam merancang aplikasi sensor induktif. Beberapa sensor induktif dapat berkinerja baik di lingkungan industri yang keras, termasuk suhu ekstrem, kelembaban, dan debu. Namun, pada beberapa kasus, mungkin diperlukan sensor yang tahan terhadap korosi atau bahan kimia tertentu. Pemilihan sensor yang sesuai dengan lingkungan operasional dapat meningkatkan keandalan dan umur pemakaian sensor.
4. Material Objek Deteksi: Jenis material objek yang akan dideteksi juga perlu dipertimbangkan. Sensor induktif umumnya efektif dalam mendeteksi objek logam. Jika aplikasi memerlukan deteksi benda non-logam, solusi alternatif mungkin perlu dipertimbangkan.
5. Frekuensi Operasional: Beberapa sensor induktif bekerja pada frekuensi tertentu. Pemilihan frekuensi yang sesuai dapat memengaruhi performa sensor, terutama dalam hal ketepatan deteksi dan kestabilan operasional.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut dalam merancang sistem dengan sensor induktif, pengguna dapat memastikan bahwa sensor berkinerja optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang spesifik.

3.5 Aplikasi Sensor Induktif

Pada saat ini, teknologi terkini dalam pengaplikasian sensor induktif untuk kehidupan sehari-hari terus berkembang. Berikut adalah beberapa tren dan pengaplikasian terkini:

1. Teknologi Layar Sentuh: Sensor induktif sering digunakan dalam teknologi layar sentuh pada perangkat elektronik, seperti ponsel pintar, tablet, dan monitor.



Gambar 3. 5. Teknologi Touch Screen

Sumber: (Azis, 2015)

Penggunaan ini memungkinkan respons cepat terhadap sentuhan dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih intuitif.

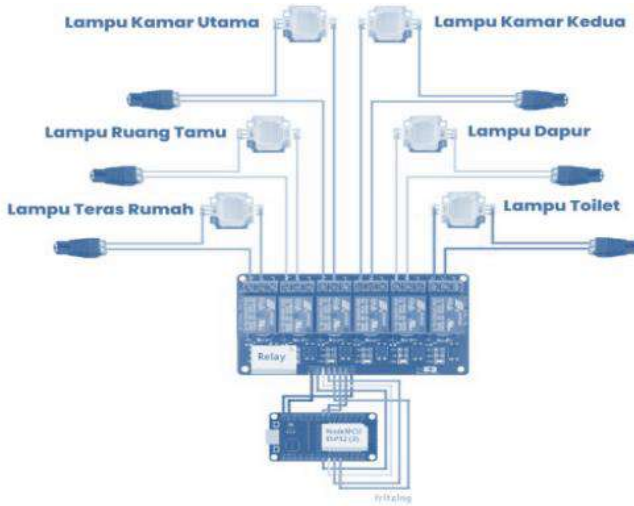
2. Kendaraan Elektrik: Sensor induktif digunakan dalam pengisian daya nirkabel untuk kendaraan listrik. Sistem pengisian daya induktif memungkinkan kendaraan mengisi daya baterai tanpa kabel fisik, hanya dengan menempatkan kendaraan di atas permukaan pengisian yang dilengkapi dengan sensor induktif.



Gambar 3. 6. Pengisian baterai kendaraan listrik secara nirkabel

Sumber: (Omazaki, 2023)

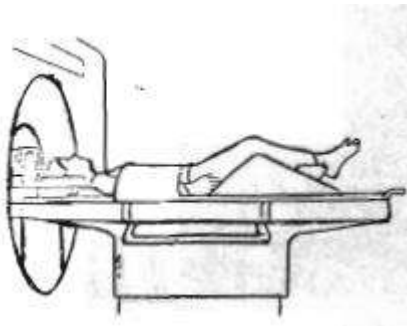
3. Teknologi Pengisian Nirkabel di Rumah: Pengisian daya nirkabel menggunakan sensor induktif juga diterapkan di rumah untuk mengisi daya perangkat elektronik seperti smartphone, earphone, dan perangkat lainnya. Ini memberikan kenyamanan tanpa perlu kabel fisik.
4. Industri Otomasi: Dalam bidang industri, sensor induktif digunakan untuk deteksi objek logam tanpa kontak langsung. Ini dapat ditemukan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem konveyor, pengendalian kualitas, dan sistem otomasi pabrik.
5. Teknologi Smart Home: Sensor induktif digunakan dalam berbagai perangkat pintar di rumah, seperti pintu otomatis, lampu pintar, dan perangkat lain yang merespons kehadiran atau perubahan dalam lingkungan sekitar.



Gambar 3. 7. Aplikasi sensor induktif untuk lampu otomatis

Sumber: (Suhardi et al., 2022)

6. Teknologi Medis: Dalam aplikasi medis, sensor induktif dapat digunakan dalam perangkat medis yang memerlukan deteksi objek atau perubahan dalam lingkungan tertentu.



Gambar 3. 8. Teknologi sensor induktif pada MRI

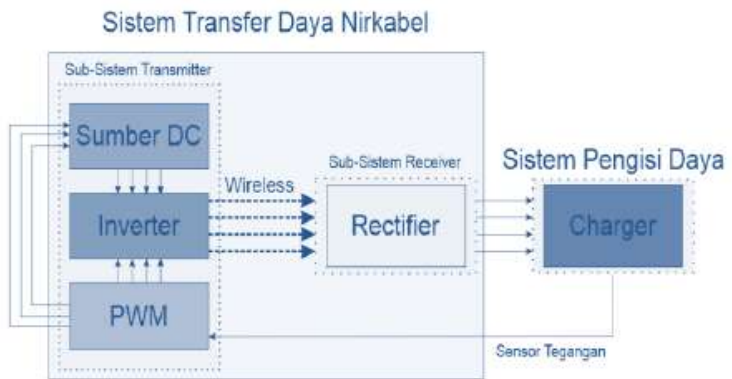
Sumber: (Mulyono & Suswaty, 2004)

MRI, atau Magnetic Resonance Imaging, adalah salah satu aplikasi kesehatan yang menggunakan prinsip sensor induktif. Dalam konteks MRI, sensor induktif digunakan untuk menghasilkan gambar detail internal tubuh manusia, termasuk organ, jaringan, dan struktur lainnya. MRI

bekerja dengan memanfaatkan sifat resonansi magnetik inti atom dalam tubuh manusia, khususnya proton hidrogen. Ketika tubuh ditempatkan dalam medan magnet yang kuat, inti atom ini dapat dipengaruhi oleh medan tersebut. Sebuah medan magnet eksternal yang kuat diciptakan di sekitar pasien menggunakan magnet superkonduktor. Medan ini membuat inti atom hidrogen dalam tubuh pasien beresonansi.

Setelah resonansi terjadi, sensor induktif mendeteksi perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh inti atom yang beresonansi. Sensor ini biasanya berupa kumparan yang terletak di sekitar area yang diamati. Sinyal yang dideteksi oleh sensor induktif diolah oleh komputer untuk menghasilkan gambar tiga dimensi dari struktur internal tubuh. Pada dasarnya, sensor ini mengubah informasi dari perubahan medan magnet menjadi gambar yang dapat diinterpretasi oleh dokter.

7. Energi Tanpa Kabel: Pengisian daya nirkabel menggunakan sensor induktif juga menjadi bagian dari konsep energi tanpa kabel, di mana perangkat dapat mengambil daya dari sumber daya tanpa perlu koneksi fisik.



Gambar 3. 9. Diagram blok pengisian baterai nirkabel

Sumber: (Amirul Haq et al., 2019)

8. Pertanian Pintar: Dalam bidang pertanian pintar, sensor induktif dapat digunakan untuk mendeteksi atau mengontrol pergerakan peralatan pertanian otonom, seperti traktor atau alat tanam.

3.5 Keuntungan dan Kelemahan

Keuntungan Sensor Induktif:

1. Tanpa Kontak Langsung: Sensor induktif tidak memerlukan kontak fisik langsung dengan objek yang akan dideteksi. Ini meminimalkan keausan dan risiko kerusakan karena gesekan atau sentuhan langsung.

Hal ini dapat terjadi karena prinsip kerja sensor induktif didasarkan pada induksi elektromagnetik. Sensor ini menghasilkan medan magnet saat arus listrik mengalir melalui kumparan atau kawat induktor di dalamnya. Ketika objek logam berada di dekat sensor, medan magnet ini akan menyebabkan arus eddy mengalir dalam objek logam tersebut.

Keunikan sensor induktif terletak pada kemampuannya mendeteksi perubahan dalam medan magnet tanpa memerlukan kontak fisik langsung. Sebagai hasilnya, sensor ini dapat "merasakan" objek logam tanpa harus bersentuhan dengannya secara langsung. Hal ini tidak hanya meminimalkan keausan pada sensor itu sendiri tetapi juga mengurangi risiko kerusakan karena gesekan atau sentuhan langsung, yang mungkin terjadi dalam jangka waktu panjang pada sensor yang memerlukan kontak fisik.

2. Umur Pemakaian Lama: Dengan sedikit atau tanpa komponen bergerak, sensor induktif cenderung memiliki umur pemakaian yang lama. Hal ini membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan keandalan jangka panjang tanpa perlu penggantian frekuensi yang tinggi.

Sensor induktif umumnya dirancang dengan sedikit atau bahkan tanpa komponen bergerak. Kurangnya komponen yang harus bergerak, seperti tuas atau bagian mekanis lainnya, mengurangi potensi keausan dan kegagalan mekanis. Dengan begitu, risiko kerusakan akibat gesekan dan gerakan mekanis yang berulang dapat diminimalkan. Selain itu, prinsip induksi elektromagnetik tanpa memerlukan kontak fisik langsung dengan objek yang dideteksi membuat tidak ada gesekan yang dapat menyebabkan keausan pada sensor. Faktor lainnya yaitu material yang digunakan dalam pembuatan sensor induktif seringkali dipilih untuk kekuatan, ketahanan, dan daya tahan terhadap lingkungan yang keras. Desain yang tahan lama ini membantu sensor untuk dapat bertahan lama dalam berbagai kondisi operasional.

3. Tahan Terhadap Kondisi Lingkungan yang Keras: Sensor induktif biasanya tahan terhadap kondisi lingkungan yang keras, seperti kelembaban, debu, atau suhu ekstrem. Ini membuatnya dapat diandalkan dalam berbagai lingkungan industri dan membantu sensor tetap beroperasi pada tingkat optimal tanpa terlalu banyak terpapar elemen-elemen yang dapat merusak.

Keterbatasan Sensor Induktif:

1. Terbatas pada Logam: Kelemahan utama sensor induktif adalah keterbatasannya dalam mendeteksi hanya objek logam. Sensor ini tidak dapat mendeteksi atau memberikan respons yang efektif terhadap benda non-logam. Hal ini dikarenakan sensor induktif bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang melibatkan perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan induktor. Ketika objek logam berada dalam jangkauan sensor, medan magnet yang dihasilkan akan menginduksi arus eddy dalam objek tersebut. Perubahan ini kemudian

dapat dideteksi oleh sensor, memungkinkannya untuk mengidentifikasi keberadaan objek logam.

2. Kurang Efektif untuk Material Non-logam: Meskipun kehandalan sensor induktif di lingkungan industri yang keras, kelemahannya adalah kurang efektif ketika berhadapan dengan material non-logam. Benda non-logam, seperti plastik, kertas, atau bahan non-konduktif lainnya, tidak memiliki sifat konduktif yang memungkinkan terjadinya induksi arus eddy. Oleh karena itu, sensor induktif tidak dapat mendeteksi atau memberikan respons yang efektif terhadap benda non-logam karena tidak ada arus eddy yang dihasilkan dalam benda tersebut.

Kelemahan ini sering menjadi pembatas dalam aplikasi di mana deteksi benda non-logam menjadi kritis. Untuk keperluan tersebut, sensor lain yang memanfaatkan prinsip deteksi berbeda, seperti sensor optik atau ultrasonik, mungkin lebih cocok.

3.6 Kesimpulan

Sensor induktif memiliki peranan penting dalam industri modern dengan menyediakan solusi deteksi yang baik untuk berbagai aplikasi. Kemampuannya mendeteksi keberadaan benda logam tanpa kontak fisik langsung membuatnya menjadi pilihan utama dalam berbagai lingkungan industri. Dengan prinsip operasional yang dapat diandalkan, sensor ini mampu memberikan respons yang cepat dan akurat terhadap perubahan lingkungan sekitarnya.

Pengguna yang memahami dengan baik karakteristik sensor ini dapat mengatur parameter operasional, seperti jarak deteksi dan sensitivitas, sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi mereka. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi

operasional dan mengurangi potensi kesalahan atau ketidaksesuaian dalam deteksi.

Dengan demikian, penggunaan sensor induktif tidak hanya memberikan keuntungan dalam hal kehandalan deteksi, tetapi juga membuka peluang untuk peningkatan efisiensi dan keakuratan dalam proses industri. Dalam menggunakan sensor induktif, pengetahuan yang baik tentang prinsip operasional sensor induktif akan menjadi landasan penting dalam menghadapi tantangan dan memaksimalkan potensi keuntungan dalam berbagai aplikasi industri modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirul Haq, M., Rivai, M., & Tasripan, T. (2019). Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai Nirkabel Menggunakan Mikrokontroler Teensy. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.31323>
- Azis, T. (2015). *Cara Kerja Touchscreen*. <https://triazis13.wordpress.com/2015/01/30/cara-kerja-touchscreen/>
- Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors Fifth Edition*.
- IPF Electronic. (2016). inductive Sensors Norm Switching Distances , IO-Link 1150 1150. *Data Book, January*, 1–4.
- Mulyono, N., & Suswaty, S. (2004). Pemanfaatan Magnetic Resonansi Imaging (MRI) Sebagai Sarana Diagnosa Pasien. In *Media litbang kesehatan: Vol. XIV* (Issue 3, pp. 8–13).
- Naufal. (n.d.). *Definsi, Prinsip Kerja, dan Aplikasi Inductive Proximity Sensor*. Wirtama Mitra Abadi. <https://wma.co.id/articles/inductive-proximity-sensor/>
- Omazaki. (2023). *Teknologi Wireless Charging Untuk Mobil Listrik (WEVCS)*. Omazaki : Your Engineering Solutions.
- Suhardi, Hidayati, R., & Nirmala, I. (2022). Smart Lamp: Kendali dan Monitor lampu Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Jupiter*, 14(2), 507–515. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/jupiter/article/view/5591>

BAB 4

SENSOR KAPASITIF

Oleh Rismen Sinambela

4.1 Pendahuluan

Teknologi sensor merupakan penghubung antara objek dan perangkat sensor listrik yang berfungsi mengubah fenomena fisika seperti kadar air, warna atau cahaya menjadi signal listrik yang dapat dideteksi. Teknologi sensor telah berkembang sangat pesat sampai saat ini, sensor sangat berhubungan pada hampir semua aspek pekerjaan manusia. Sekarang teknologi sensor banyak dibutuhkan pada dunia industri manufaktur misalnya kegiatan industri kontrol kualitas, pemantauan dan analisa. Kemampuan teknologi sensor untuk merasakan, mencium, mendengar, berpikir dan berkomunikasi sangat mengagumkan sehingga kehadirannya dapat mempermudah pekerjaan manusia menjadi lebih cepat, terukur dan konsisten.

Alexanderson memanfaatkan kapasitor sebagai elemen pendeteksi dalam alat untuk membaca kehadiran objek yang ada di dekatnya. Namun, pada saat itu, kemajuan informasi masih terbatas dan sensor kapasitor belum dapat digunakan secara luas. Pada tahun 1960-an, kemajuan informasi semikonduktor berkembang sangat pesat, yang juga berdampak pada pengembangan sensor kapasitor. Bahan semikonduktor seperti silikon dalam produksi sensor kapasitor mengijinkan ukuran sensor kapasitor yang lebih kecil, penggunaan daya yang lebih rendah, dan kepekaan yang lebih akurat.

Sensor kapasitor pertama yang digunakan secara komersial adalah "touch switch" yang diperkenalkan oleh perusahaan Jepang bernama Omron Corporation pada tahun 1968. Touch switch ini menggunakan prinsip kapasitansi untuk mendeteksi sentuhan dan mengaktifkan saklar. Namun, pada saat itu, sensor kapasitor masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan kemampuan mendeteksi beberapa sentuhan sekaligus. Perkembangan selanjutnya dalam sensor kapasitor terjadi pada tahun 1990-an dengan diperkenalkannya teknologi layar sentuh kapasitif. Teknologi ini memungkinkan penggunaan jari untuk berinteraksi langsung dengan layar dan menjadi salah satu inovasi penting dalam perangkat elektronik seperti smartphone, tablet, dan perangkat lainnya. Seiring dengan perkembangan teknologi elektronik, sensor kapasitor semakin canggih dan mampu mendeteksi sentuhan dengan presisi yang lebih tinggi. Saat ini, sensor kapasitor telah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk kendaraan bermotor, peralatan rumah tangga, peralatan medis, dan banyak lagi. Secara keseluruhan, sejarah sensor kapasitor melibatkan perkembangan teknologi dari penggunaan awal dalam alat pendeteksi kehadiran objek hingga penggunaan yang luas dalam layar sentuh dan berbagai aplikasi lainnya. Pengembangan ini terus berlanjut dengan inovasi baru untuk meningkatkan akurasi, sensitivitas, dan fungsi sensor kapasitor.

4.2 Aplikasi Sensor kapasitif

Kapasitor dapat diaplikasikan sebagai sensor dengan memanfaatkan perubahan kapasitansi yang terjadi ketika ada perubahan pada medan elektrostatik di sekitar kapasitor. Prinsip dasar penggunaan kapasitor sebagai sensor adalah bahwa kapasitansi sebuah kapasitor akan berubah secara proporsional terhadap perubahan jarak, luas permukaan, atau jenis bahan yang

berdekatan dengannya. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi sensor kapasitor:

- **Sensor Sentuh:** Kapasitor dapat digunakan sebagai sensor sentuh atau tombol sentuh pada perangkat elektronik, seperti layar sentuh pada smartphone atau tablet. Ketika jari atau objek lain menyentuh permukaan yang sensitif kapasitansi, perubahan kapasitansi terdeteksi dan diubah menjadi sinyal yang menandakan adanya sentuhan.
- **Sensor Proksimitas:** Kapasitor juga dapat digunakan sebagai sensor proksimitas atau detektor jarak. Ketika ada objek yang mendekat ke sensor, medan elektrostatik pada kapasitor akan berubah, dan perubahan kapasitansi akan dideteksi untuk mengetahui keberadaan atau jarak objek tersebut.
- **Sensor Kelembaban:** Kapasitor dapat digunakan sebagai sensor kelembaban relatif dalam aplikasi pengukuran kelembaban udara. Perubahan kelembaban akan menyebabkan perubahan kapasitansi pada kapasitor yang dirancang khusus, dan ini digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban relatif.
- **Sensor Posisi:** Kapasitor dapat digunakan sebagai sensor posisi pada beberapa aplikasi. Misalnya, dalam pengendalian gerakan linier atau rotasi, perubahan kapasitansi akibat perubahan posisi objek dapat dideteksi dan digunakan untuk mengukur posisi relatif atau pergerakan.
- **Sensor Level:** Kapasitor dapat digunakan sebagai sensor level dalam aplikasi pengukuran atau pemantauan tingkat cairan. Ketika kapasitor terendam dalam cairan, kapasitansi akan berubah sesuai dengan level cairan, ini dapat digunakan untuk mengukur atau memantau tingkat cairan dalam penampungan.

Revolusi Industri (Industri 4.0) yang sedang berlangsung saat ini, teknologi sensor telah menjadi bagian penting dari proses industri. Penginderaan memungkinkan manufaktur untuk dapat memantau, mengontrol, dan mengotomatiskan proses serta meningkatkan keamanan. Sensor memiliki banyak manfaat bagi industri manufaktur karena memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan real-time tentang berbagai parameter dalam proses produksi. Dengan menggunakan sensor yang tepat dan menerapkan teknologi yang sesuai, manufaktur dapat meningkatkan efisiensi, kualitas, keamanan, dan keberlanjutan proses produksi mereka. Hal ini pada gilirannya dapat membantu meningkatkan daya saing mereka di pasar. Fungsi sensor sangat bervariasi tergantung pada jenis sensor dan aplikasinya. Sensor adalah komponen kunci dalam berbagai teknologi modern dan sistem, memungkinkan pengumpulan data yang diperlukan untuk pengambilan keputusan, otomatisasi, dan control, peningkatan kinerja sumber energi seperti sel bahan bakar dan baterai serta tenaga surya. peningkatan kesehatan dan keselamatan dan keamanan bagi orang-orang.

Pertumbuhan pengetahuan dan teknologi yang semakin maju, spesifiknya di bidang elektronika untuk memproduksi berbagai kemajuan informasi berbasis tepat guna yang tidak jarang membutuhkan sensor yang presisi, untuk memudahkan pengerjaan dalam membaca respon pada perangkat elektronika. Sensor memiliki fungsi seperti layaknya penginderaan yang ada pada manusia yang diolah oleh kontroler sebagai pusat perintah. Perbedaan jenis dan kebutuhan aplikasi akan menyesuaikan jenis sensor yang berbeda-beda, ada berbagai hal yang perlu dicek untuk mengetahui kadar pada zat yang diukur salah satunya adalah kadar air pada kayu yang akan diolah menjadi mebel.

4.3 Cara kerja Sensor kapasitif

Kapasitor adalah salah satu komponen elektronik yang penting dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam rangkaian elektronik, daya listrik, komunikasi, dan banyak lagi. Fungsi utama kapasitor adalah menyimpan muatan listrik dan menyediakan reaktansi kapasitif dalam sirkuitnya. Saat kapasitor sudah penuh dengan elektron, maka tegangan akan mengalami perubahan. Pada saat elektron keluar dari sebuah kapasitor akan mengalir ke rangkaian yang membutuhkannya. Kapasitor akan meningkatkan reaktif dari rangkaian. Walaupun kita tidak menyangkatnya, walaupun komponen kapasitor memiliki bentuk masing-masing dan ukuran yang berbeda-beda, akan tetapi fungsi dari kapasitor tetap sangat dibutuhkan untuk komponen rangkaian atau bahkan komponen elektronika.

Kedua keeping kapasitor melibatkan akumulasi muatan listrik di antara kedua lempeng konduktor ini saat tegangan diterapkan pada kapasitor. Kapasitor terdiri dari dua lempeng logam yang sangat dekat satu sama lain tetapi tidak bersentuhan. Di antara kedua lempeng ini, ada bahan isolator atau dielektrik yang memisahkan mereka. Dielektrik ini berfungsi untuk mencegah aliran arus listrik langsung antara lempeng-lempeng tersebut. Jika tegangan listrik diterapkan pada kapasitor dengan menghubungkan lempeng-lempengnya ke sumber daya listrik, misalnya, dengan menghubungkan satu lempeng ke kutub positif dan yang lainnya ke kutub negatif sumber daya listrik, muatan listrik akan mulai berkumpul pada masing-masing lempeng. Elektron-elektron dari salah satu lempeng akan ditarik ke lempeng yang lain, meninggalkan muatan positif pada satu lempeng dan muatan negatif pada lempeng yang lain. Muatan ini akan terakumulasi pada permukaan lempeng yang berdekatan dengan dielektrik. Kapasitor menyimpan energi dalam bentuk muatan listrik yang terpisah. Kapasitor mampu menyimpan energi ini hingga tegangan yang diterapkan pada kapasitor dilepaskan. Kapasitor digunakan dalam berbagai aplikasi dalam

sirkuit elektronik, seperti penyaringan sinyal, pelindung sirkuit, penyimpanan energi sementara, dan banyak lagi. Selama operasi normal, energi yang disimpan dalam kapasitor diperoleh dari sumber eksternal, seperti sumber daya listrik, dan kemudian dilepaskan kembali saat diperlukan dalam sirkuit. penyaringan sinyal, pelindung sirkuit, penyimpanan energi sementara, dan banyak lagi. Penyebabnya adalah adanya komponen-komponen yang berdekatan pada jalur penghantar listrik yang berdekatan dan gulungan-gulungan kawat yang berdekatan. Gambar diatas menunjukkan bahwa ada dua buah plat yang dibatasi udara. Jarak kedua plat dinyatakan sebagai dan tegangan listrik yang masuk.

4.4 Besaran Kapasitansi

Salah satu fungsi kapasitor yaitu sebagai komponen penyimpan muatan. Besarnya Muatan yang dapat tersimpan di dalam kapasitor tergantung pada daya tampung muatan kapasitor tersebut karena setiap kapasitor memiliki daya tampung muatan yang berbeda-beda. Oleh karena itu, terdapat suatu besaran yang dapat menentukan perbedaan muatan maksimum yang bisa disimpan dalam suatu kapasitor, Kapasitansi dari sebuah kapasitor adalah ukuran yang menunjukkan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitansi diukur dalam satuan yang disebut farad (F). Satu farad setara dengan kapasitas untuk menyimpan satu coulomb muatan listrik saat tegangan antara kedua lempeng kapasitor adalah satu volt. Dengan kata lain, kapasitansi adalah rasio muatan yang disimpan (Q) dengan tegangan yang diterapkan (V) pada kapasitor. Semakin besar kapasitansi, semakin banyak muatan yang dapat disimpan oleh kapasitor untuk tegangan yang diberikan. Kapasitansi kapasitor biasanya ditentukan oleh desain fisik kapasitor, termasuk luas permukaan lempeng, jarak antar lempeng, dan tipe dielektrik yang digunakan. Hubungan antara besarnya muatan yang tersimpan

dalam kapasitor dengan nilai kapasitansi kapasitor dan beda potensial antar kedua permukaan kapasitor adalah sebagai berikut.

$$C = \frac{Q}{V}1$$

Dimana:

- C = kapasitansi (Farad)
- Q = muatan listrik (Coulomb)
- V = beda potensial (Volt)

Dengan kata lain, kapasitansi adalah rasio muatan yang disimpan dalam kapasitor (dalam coulomb) terhadap tegangan yang diterapkan pada kapasitor (dalam volt). Semakin besar nilai kapasitansi, semakin besar kapasitor tersebut dalam hal menyimpan muatan.

Kapasitas kapasitor, yang juga dikenal sebagai kapasitansi, adalah ukuran kesanggupan kapasitor dalam menyimpan listrik. Kapasitas kapasitor dinyatakan dalam satuan farad (F) dan mengukur berapa banyak muatan listrik yang dapat disimpan oleh kapasitor pada tegangan tertentu. Semakin besar kapasitas kapasitor, semakin banyak muatan yang dapat disimpannya. Nilai kapasitansi kapasitor dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk ukuran kapasitor, jarak antara elektroda, dan jenis dielektrik yang digunakan. Kapasitor yang memiliki kapasitansi lebih tinggi cenderung dapat menyimpan muatan lebih banyak daripada kapasitor dengan kapasitansi yang lebih rendah pada tegangan yang sama. Berikut adalah rumusan yang disimpan dalam keeping kapasitor.

$$C_o = \epsilon_o \frac{A}{d}.$$

$$C = KC_o.$$

$$C = K\epsilon_o \frac{A}{d}2$$

Penjelasan:

- C = Kapasitas Kapasitor (Farad)
- ϵ_0 = Permittivitas Ruang Hampa ($8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$)
- A = Luas Penampang pada setiap keping (m^2)
- d = Jarak antar keping
- K = konstanta dielektrik $\bar{E}$

Lambang kapasitor adalah simbol grafis yang digunakan dalam skema rangkaian elektronik untuk mewakili komponen kapasitor. Lambang ini digunakan untuk memberikan informasi tentang jenis dan kapasitansi kapasitor dalam rangkaian elektronik tanpa harus menampilkan gambar fisik sebenarnya dari kapasitor. Di dalam skema rangkaian elektronik, lambang kapasitor ini digunakan untuk menunjukkan posisi dan fungsi kapasitor dalam sirkuit tanpa harus menggambar gambar fisik kapasitor.



Gambar 4. 1. Simbol Kapasitor

Kapasitas atau kapasitansi kapasitor adalah pengukuran kemampuannya untuk menyimpan muatan. Nilai kapasitansi dipengaruhi oleh ukuran lempeng, jarak antar lempeng, dan sifat dielektrik yang digunakan. Kapasitor dengan kapasitansi yang lebih besar dapat menyimpan muatan lebih banyak untuk tegangan yang sama. Tetapi karena antara plat logam yang dipasang sebuah isolasi arus tidak akan dapat lewat, sehingga muatan yang bergerak hanya dapat bergerak sampai plat logam saja, berarti plat logam akan semakin banyak muatan, maka akan timbul medan listrik diantara plat logam, karena ada voltase antara kaki sambungan kapasitor.

$$(V = \int_0^s \bar{E} dx) \dots\dots\dots 3$$

Besar voltase yang terdapat pada kapasitor dalam rangkaian elektronik tergantung jumlah muatan yang ada dalam kapasitor tersebut. Jumlah muatan berhubungan dengan arus sesuai dengan persamaan dibawah ini.

$$I = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots 4$$

Arus adalah diferensial dari muatan terhadap waktu dari definisi arus dan kapasitansi terdapat hubungan antara arus dan voltase pada kapasitor tersebut.

$$\left. \begin{aligned} V &= I/C \quad Q \Leftrightarrow dQ/dt = C dV/dt \\ I &= dQ/dt \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow I = C \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots 5$$

Jadi turunan voltase berbanding lurus dengan arus, hal ini berarti pada kapasitor bukan voltase yang menentukan arus, akan tetapi perubahan voltase yang menentukan besaran arus, atau dengan kata lain besaran arus tidak berhubungan langsung dengan perubahan voltase, tetapi arus berhubungan langsung dengan besar perubahan voltase, sedangkan besar voltase bisa memiliki nilai apa saja.

Berarti hubungan antara besar arus dan besar voltase tergantung dari besar frekuensi dan besar kapasitansi. Kalau kapasitansi besar, maka arus akan besar juga. Jadi kalau frekuensi semakin besar, kapasitor semakin tidak menghambat arus. Untuk frekuensi 0 berarti pada voltase DC, tidak ada arus yang mengalir.

Perkembangan teknologi di bidang sensor kapasitor telah membawa banyak inovasi dan kemajuan signifikan dalam berbagai aplikasi, termasuk teknologi komunikasi, otomatisasi industri, kesehatan, dan banyak lagi. Sensor kapasitor semakin kecil dan lebih ringan, yang memungkinkan penggunaan mereka dalam perangkat yang lebih kecil dan portabel. Ini adalah perkembangan penting dalam aplikasi seperti smartphone, perangkat medis. Perkembangan ini mencerminkan bagaimana sensor kapasitor terus beradaptasi dengan kebutuhan teknologi modern dan berperan dalam membawa inovasi dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari. Dengan semakin banyaknya aplikasi yang menggunakan sensor kapasitor, perkembangan lebih lanjut dalam teknologi ini diharapkan akan terus terjadi.

4.5 Fungsi Kapasitor

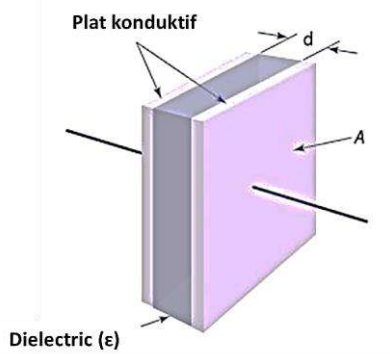
Kapasitor adalah komponen elektronik yang memiliki berbagai fungsi dalam berbagai sirkuit elektronik. Beberapa fungsi utama kapasitor antara lain, menyimpan energi dalam bentuk muatan listrik. Energi ini kemudian dapat dilepaskan saat dibutuhkan dalam sirkuit. Kapasitor digunakan dalam pembangkit listrik tenaga kinetik, seperti kamera yang menggunakan kilat atau sumber daya cadangan dalam pasokan daya computer, mengalirkan arus bolak balik ke sirkuit dan menghalangi arus searah. Kapasitor dapat digunakan untuk menyimpan sinyal analog dan memungkinkan perubahan fasa antara tegangan dan arus dalam sirkuit. Ini penting dalam aplikasi seperti peredaman suara dan pembentukan fase dalam filter.

Kapasitor elektrolit besar digunakan dalam catu daya untuk menghilangkan fluktuasi tegangan dan menjaga stabilitas dalam sirkuit, dapat digunakan untuk menciptakan penundaan waktu dalam sirkuit. Kapasitor digunakan dalam berbagai aplikasi di dunia elektronik dan listrik karena kemampuannya

untuk menyimpan muatan listrik. Penggunaan kapasitor bervariasi tergantung pada jenis kapasitor, nilai kapasitansi, jenis dielektrik, dan konfigurasi sirkuit. Kapasitor dapat digunakan sebagai komponen tunggal atau dalam kombinasi dengan resistor, induktor, dan komponen lainnya untuk mencapai fungsi yang diinginkan dalam sirkuit elektronik.

4.6 Medan Kapasitor

Benda yang bermuatan listrik di setiap titiknya terdapat kuat medan listrik. Bila muatannya diperbesar, maka kuat medan listrik di sekitar benda bermuatan listrik tersebut menjadi lebih besar dan sebaliknya. Bila muatannya diperkecil, maka kuat medan listriknya menjadi lebih kecil. Sensor kapasitif terbuat dari dua pelat logam dengan lapisan dielektrik, atau isolasi, di antaranya desain yang disebut kapasitor pelat paralel. Kapasitor adalah perangkat yang menyimpan energi listrik, dan kapasitansi adalah ukuran berapa banyak muatan yang dapat ditampung kapasitor. Untuk kapasitor pelat paralel, kapasitansi tergantung pada tiga faktor yaitu area tumpang tindih pelat, permitivitas, dielektrik di antara plat (biasanya udara), dan jarak antara pelat. Ketika tegangan diterapkan ke kapasitor pelat paralel, muatan positif terakumulasi pada satu pelat, dan muatan negatif yang sesuai terakumulasi pada pelat lainnya, menciptakan medan listrik di antara pelat. Bidang ini dimonitor untuk perubahan, yang menunjukkan perubahan kapasitansi.

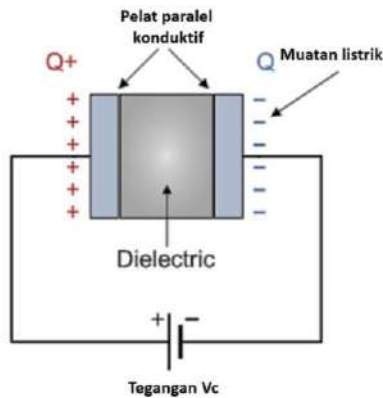


Gambar 4. 2. Prinsip dasar kapasitor

Sensor perpindahan / jarak kapasitif menggunakan listrik properti "kapasitansi" untuk membuat perpindahan atau jarak pengukuran dan telah banyak digunakan di beberapa aplikasi percobaan industri selama beberapa dekade. Sensor kapasitif bekerja untuk perpindahan atau pengukuran jarak, dan juga mengungkapkan parameter kinerja dan kondisi masing-masing di mana mereka bergantung. Contohnya, rentang linear bergantung pada bentuk probe/elektroda, ukuran juga sebagai celah elektroda, jangkauan deteksi tergantung pada area penginderaan, bentuk probe/elektroda, ukuran target, dan driver demikian juga; resolusi dan sensitivitas bergantung pada kondisi yang sama seperti jangkauan deteksi.

Medan listrik di sekitar kapasitor dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum Gauss dan prinsip elektrostatis. Kapasitor adalah komponen elektronik yang memiliki dua lempeng konduktor yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Ketika kapasitor diberi muatan listrik, medan listrik akan terbentuk di sekitar kapasitor. Di antara kedua lempeng kapasitor yang bermuatan berlawanan (misalnya, satu lempeng bermuatan positif dan yang lainnya bermuatan negatif), medan listrik akan terbentuk. Medan listrik ini merambat antara kedua lempeng secara sejajar dengan permukaan lempeng. Konsep penting

dalam elektrostatika, dan pemahaman tentang medan listrik ini memiliki banyak aplikasi dalam teknologi dan sirkuit elektronik. Medan listrik ini juga berperan dalam menyimpan muatan pada lempeng-lempeng kapasitor dan dalam berbagai aplikasi praktis, seperti layar sentuh, penyimpanan energi dalam kapasitor, dan banyak lagi.



**Gambar 4. 3. Kapasitor keping sejajar dan arah medan listrik
kapasitor keeping sejajar**

Kapasitor keping sejajar didasarkan pada prinsip dasar kapasitor, yang melibatkan akumulasi muatan listrik antara dua elektroda yang ditempatkan secara sejajar satu sama lain dengan dielektrik di antara keping. Kapasitor keping sejajar memiliki dua elektroda datar yang biasanya terbuat dari logam, seperti aluminium atau tembaga. Elektroda ini berfungsi sebagai terminal untuk menghubungkan kapasitor ke sirkuit luar. Di antara dua elektroda, ada lapisan bahan dielektrik. Dielektrik adalah isolator yang memisahkan elektroda satu dan dua, dan mencegah muatan listrik mengalir langsung antara mereka. Ketika tegangan diterapkan ke kapasitor dengan menghubungkan ke sumber listrik, perbedaan potensial terbentuk antara dua elektroda. Ini menyebabkan muatan positif dan negatif terakumulasi pada elektroda yang sesuai. Muatan

positif terakumulasi pada satu elektroda, sementara muatan negatif terakumulasi pada elektroda lainnya. Ini menciptakan medan listrik di antara elektroda yang menghasilkan energi potensial listrik. Kapasitansi kapasitor keping sejajar tergantung pada beberapa faktor, termasuk luas permukaan elektroda, jarak antara elektroda, dan konstanta dielektrik dielektrik. Kapasitansi diukur dalam farad (F) dan mencerminkan kapasitas kapasitor untuk menyimpan muatan pada tegangan tertentu. Energi yang disimpan dalam kapasitor keping sejajar disimpan dalam bentuk potensial listrik. Energi ini dapat dilepaskan saat dibutuhkan dalam sirkuit elektronik. Kapasitor memiliki kemampuan untuk mengisi dan mengosongkan dengan cepat, sehingga dapat memberikan lonjakan energi dalam waktu singkat.

$$C = \frac{\epsilon A}{d}6$$

- C = capacitance (farads, F)
- ϵ = permittivity of the dielectric (F/m)
- A = area of overlap between the plates (m²)
- d = distance between the plates (m)

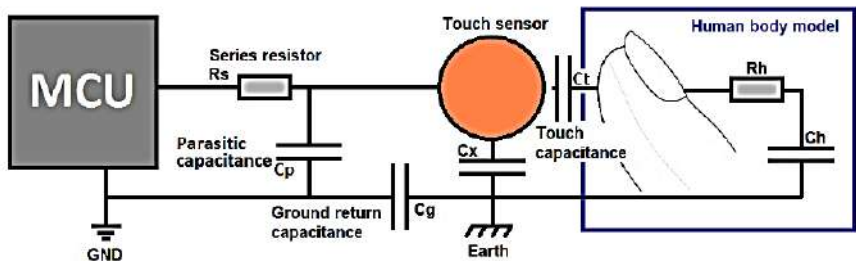
4.7 Aplikasi Sensor Kapasitif

Terdapat beberapa jenis sensor kapasitif berdasarkan berbagai kriteria dan aplikasinya, beberapa jenis sensor kapasitif yang umum yang dibahas disini antara lain:

4.7.1 Sensor Kapasitif Sentuh (*Touch Sensor*)

Sensor kapasitif sentuh (touch sensor) adalah jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi sentuhan atau kontak fisik dengan permukaan sensor. Mereka bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi, di mana sensor ini memonitor perubahan kapasitansi pada permukaan yang terjadi ketika ada sentuhan. Ketika dua bahan yang berbeda bersentuhan atau berdekatan, mereka dapat membentuk kapasitor sederhana. Sensor kapasitif sentuh biasanya memiliki permukaan yang dilapisi dengan

materi konduktif, seperti logam, dan dibatasi oleh materi dielektrik (non-konduktif). Ketika sensor dalam keadaan tidak tersentuh, kapasitor pada sensor ini diisi dengan muatan listrik dari sumber tegangan. Ketika seseorang menyentuh atau mendekati sensor kapasitif, muatan listrik yang ada pada permukaan sensor akan berpindah ke tubuh atau benda yang menyentuhnya. Hal ini mengakibatkan perubahan kapasitansi pada sensor. Sensor kapasitif memiliki elektronika yang sensitif yang dapat mendeteksi perubahan kapasitansi. Ketika perubahan kapasitansi terdeteksi, sensor mengirimkan sinyal atau informasi ke perangkat elektronik atau mikrokontroler yang dapat menafsirkan sentuhan atau interaksi pengguna. Sensor kapasitif sentuh merupakan teknologi yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari kita karena kemampuannya yang sensitif, respons cepat, dan beragam aplikasi yang luas.

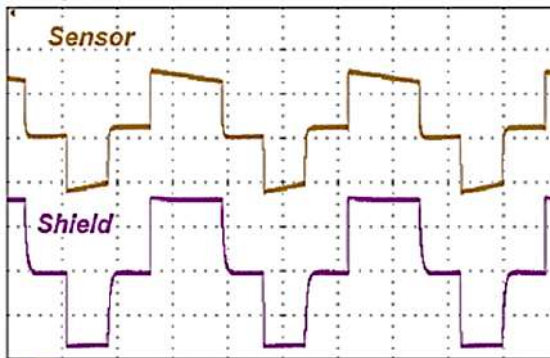


Gambar 4. 4. Sensor Kapasitif Sentuh

www.microchip.com/touch

Ketika kontak sentuh diterapkan, kapasitansi sensor nyata meningkat dengan diperkenalkannya jalur parallel ke bumi melalui 'Model Tubuh Manusia' (HBM). Kapasitansi sentuh C_t membentuk kombinasi seri dengan HBM kapasitansi C_h dan kapasitansi tanah ke bumi C_g . Peningkatan ini disebut sebagai sentuhan 'delta'. Bentuk Elektroda Elektroda sentuh adalah potongan bahan konduktif, seperti tembaga pada substrat non-konduktif. Bentuk umum adalah bidang padat berbentuk bulat

atau persegi panjang, namun bentuk apa pun dengan bidang kontak sentuh yang memadai dapat digunakan. Sudut harus dibulatkan untuk mengurangi konsentrasi medan listrik, yang dapat meningkatkan terjadinya pelepasan Elektro statis bantalan sensor.

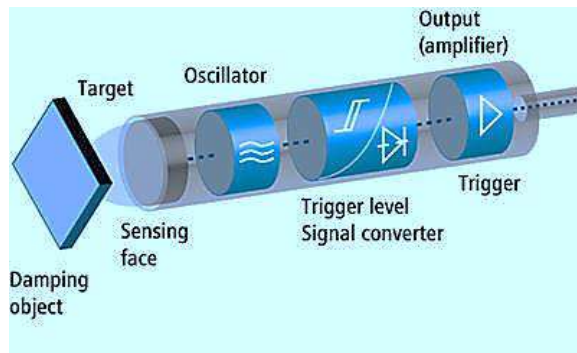


Gambar 4. 5. Tingkat Perisai Sinyal

Perisai tiga tingkat digerakkan melalui serangkaian tegangan yang sesuai dengan potensial elektroda pada setiap tahap pengukuran. Ini secara efektif memisahkan sensor sentuh dari tanah, mengurangi beban kapasitif dan memberikan perisai listrik ke EMI, meningkatkan Rasio Signal-to-Noise (SNR) sensor. Dengan menempatkan pelindung antara sensor dan komponen sirkuit lainnya, pengoperasian di hadapan kelembapan akan sangat besar ditingkatkan. Pelindung banjir belakang dapat ditempatkan di seluruh area papan penuh. Pelindung koplanar ditempatkan dengan jarak 0,5 mm akan efektif dan memungkinkan tata letak sensor yang mudah.

4.7.2 Sensor Kapasitif Jarak (*Proximity Sensor*)

Sensor ini mendeteksi perubahan dalam kapasitansi yang diakibatkan oleh benda yang mendekat atau menjauh dari permukaan sensor. sering digunakan dalam aplikasi deteksi kehadiran, seperti pada lampu sorot otomatis atau layar ponsel yang otomatis mati saat dekat dengan wajah pengguna. Sensor jarak digunakan di banyak industri untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tanpa harus melakukan kontak fisik dengannya. Jenis sensor jarak yang umum termasuk fotolistrik, kapasitif, dan induktif.

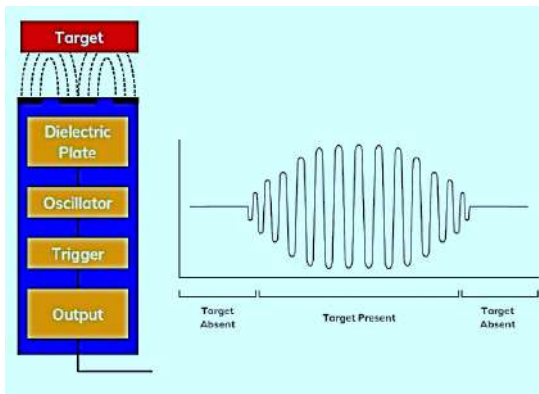


Gambar 4. 6. Sensor Kapasitif Jarak

(Sumber: <https://instrumentationblog.com/what-are-capacitive-proximity-sensors/>)

Hysteresis adalah ketergantungan sebuah sistem, tidak hanya pada keadaannya sekarang, tetapi juga pada keadaannya pada masa lalu. Hysteresis dinyatakan dalam % jarak penginderaan terukur. Misalnya sensor dengan jarak penginderaan terukur 20mm mungkin memiliki hysteresis maksimum 15% atau 3mm. Hysteresis adalah parameter independen yang tidak konstan dan akan bervariasi dari satu sensor ke sensor lainnya. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hysteresis diantaranya Kapasitansi eksternal antara target dan pelat sensor internal membentuk bagian kapasitansi umpan balik dalam rangkaian osilator. Saat target

mendekati sensor, osilasi meningkat hingga mencapai tingkat ambang batas dan mengaktifkan output.



Gambar 4. 7. Osilasi Sensor Kapasitif Jarak

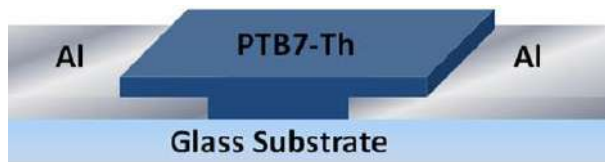
(Sumber: <https://instrumentationblog.com/what-are-capacitive-proximity-sensors/>)

Ada dua kategori target yang dapat dideteksi oleh sensor kapasitif, yang pertama bersifat konduktif dan yang kedua adalah non-konduktif. Target konduktif meliputi logam, air, darah, asam, basa, dan air garam. Target ini mempunyai kapasitansi yang lebih besar dan kekuatan dielektrik target tidak penting. Berbeda dengan sensor jarak induktif, faktor reduksi berbagai logam bukan merupakan faktor dalam sensor yang mendeteksi jarak.

4.7.3 Sensor Kapasitif Kelembaban (*Humidity Sensor*)

Sensor ini digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban di lingkungan. Kelembaban udara memengaruhi kapasitansi sensor, dan informasi ini dapat digunakan untuk mengukur kelembaban relatif. Sensor kelembabannya kecil kapasitor yang terdiri dari a bahan dielektrik higroskopis ditempatkan di antara sepasang elektroda. Kebanyakan sensor kapasitif menggunakan plastik atau polimer sebagai dielektrik bahan, dengan dielektrik yang khas konstan berkisar antara 2 hingga 15. Ketika tidak ada uap air di dalamnya sensor, baik

konstanta ini maupun geometri sensor menentukan nilai kapasitansi. Pada suhu kamar normal, konstanta dielektrik air uap mempunyai nilai sekitar 80, a nilainya jauh lebih besar dari konstanta bahan dielektrik sensor. Oleh karena itu, penyerapan kelembaban oleh sensor menghasilkan peningkatan kapasitansi sensor. Pada kondisi keseimbangan, jumlah kelembaban hadir dalam higroskopis materi tergantung pada keduanya suhu lingkungan dan lingkungan tekanan uap air. ini benar juga untuk dielektrik higroskopis bahan yang digunakan pada sensor. Menurut definisi, kelembaban relatif merupakan fungsi dari kedua lingkungan tersebut suhu dan tekanan uap air. Ada hubungan langsung antara kelembaban relatif, itu jumlah kelembaban yang ada di dalamnya sensor, dan kapasitansi sensor. Hubungan ini adalah dasar dari pengoperasian kapasitif instrumen kelembaban. Seperti yang kita ingat kelembaban relatif kita dasar-dasarnya, kita ingat relatif itu kelembaban adalah rasio tekanan uap air aktual yang ada dibandingkan dengan maksimum tekanan uap air (saturasi tekanan uap) mungkin pada waktu tertentu suhu. Bahan dielektrik bervariasi pada tingkat yang terkait dengan perubahan kelembaban relatif.

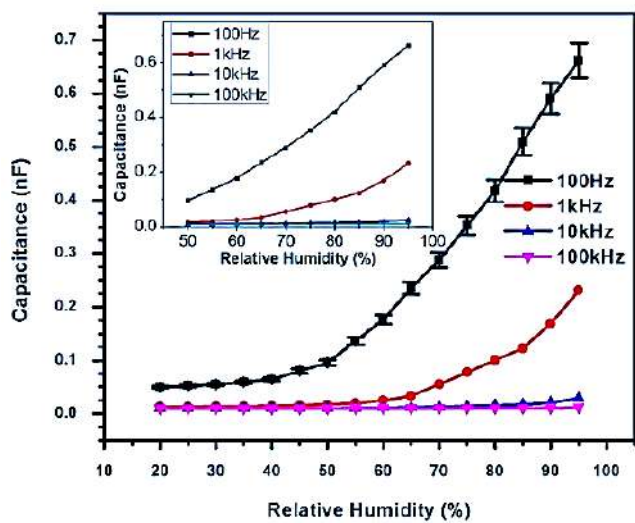


Gambar 4. 8. Sensor kelembaban kapasitif planar PTB7-Th

Sumber: (Lih Wei Lim at all)

Hubungan kapasitansi vs. kelembaban relatif sensor kelembaban kapasitif planar Al/PTB7-Th/Al untuk 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz pada 1V. Sisipan menunjukkan wilayah linier untuk hubungan kapasitansi vs. kelembaban relatif (50–95% RH). Nilai regresi linier yang ditemukan adalah 0,9835, 0,8759,

0,8223 dan 0,7706 masing-masing pada 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz.



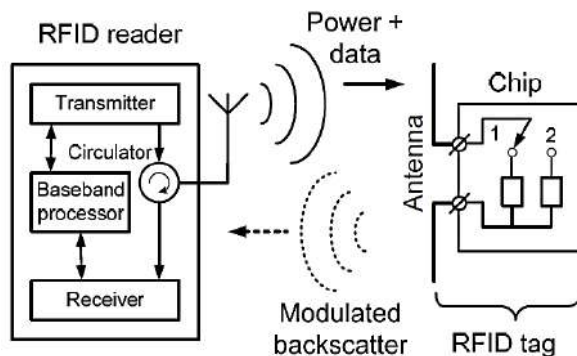
Gambar 4. 9. Menunjukkan karakter kapasitansi-kelembaban relatif
Sumber: (Lih Wei Lim at all)

Karakteristik sensor kapasitif planar Al/PTB7-Th/Al pada empat perbedaan frekuensi berbeda yaitu 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz. Semua pengukuran diperoleh pada tegangan konstan 1 V. Secara keseluruhan, kapasitansi perangkat meningkat seiring dengan bertambahnya kelembaban dari 20 hingga 95% RH. Pada frekuensi 100 Hz, kapasitansi sensor menampilkan respons yang hampir linier. Kapasitansi kapasitif planar Al/PTB7-Th/Al sensor kelembaban meningkat 13 kali lipat secara keseluruhan kisaran kelembaban. Sensornya cukup sensitif antara 20 dan RH 95%, namun tetap konstan di bawah 45% RH. Dapat diamati dari Gambar 4.9, bahwa kapasitansi adalah tergantung pada frekuensi operasi. Pada frekuensi operasi frekuensi 100 Hz, perubahan kapasitansi menuju RH cukup signifikan pada frekuensi di atas 100 Hz (mis. 1, 10 dan 100 kHz) kapasitansi menunjukkan perubahan kecil terhadap variasi kelembaban (ditunjukkan pada inset Gambar 3). Selain itu,

sensornya tidak sensitif di bawah 60% RH 1 kHz dan 80% RH untuk 10 dan 100 kHz. Sejak di lebih tinggi frekuensi, mobilitas dipol dalam semikonduktor organik adalah sangat rendah sehingga mereka tidak mempunyai cukup waktu untuk merespons medan listrik yang diterapkan, oleh karena itu, menghasilkan sensitivitas yang rendah [29]. Sebaliknya, sensitivitas maksimum diperoleh pada tingkat yang lebih rendah frekuensi, oleh karena itu, seharusnya 1 V (Vrms) dan 100 Hz (f). digunakan sebagai kondisi operasi untuk karakter listrik berikutnya. akterisasi.

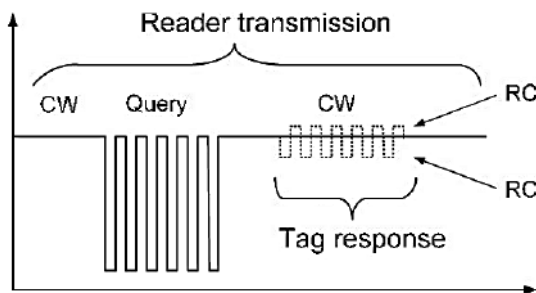
4.7.4 Sensor Kapasitif Label RFID (*Radio-Frequency Identification*)

Sensor kapasitif digunakan dalam label RFID untuk menyimpan dan membaca data dari label tersebut. Kapasitansi berubah ketika label mendekati pembaca RFID. Sensor kapasitif dalam sistem *Radio-Frequency Identification* (RFID) adalah bagian penting dari teknologi ini. Sensor kapasitif RFID bekerja dengan cara mendeteksi perubahan kapasitansi yang disebabkan oleh kehadiran atau kontak dengan tag RFID yang mengandung chip dan antena. Berikut adalah cara kerja sensor kapasitif dalam teknologi RFID



Gambar 4. 10. Sistem RFID pasif
(Sumber Pavel et all)

Gambar 3.10. mengilustrasikan pengoperasian sistem RFID pasif yang terdiri dari tag RFID dan stasiun pangkalan yang disebut "pembaca RFID". Tag pasif tipikal terdiri dari antena dan aplikasi chip sirkuit terintegrasi spesifik (ASIC), keduanya dengan kompleks impedansi. Chip memperoleh daya dari sinyal RF ditransmisikan oleh pembaca RFID. Tag mengirimkan data kembali mengalihkan impedansi masukannya antara dua keadaan dan dengan demikian memodulasi sinyal hamburan balik. Pada setiap keadaan impedansi, tag RFID menyajikan penampang radar tertentu. Salah satu dari keadaan impedansi biasanya tinggi dan keadaan impedansi lainnya rendah untuk menyediakan a perbedaan signifikan dalam sinyal hamburan balik.



Gambar 4. 11. Pertukaran data antara pembaca RFID dan tag.

Pertukaran data antara pembaca RFID dan tag bisa menggunakan berbagai skema modulasi dan pengkodean (misalnya amplitudo modulasi dan pengkodean Manchester). Sinyal ditransmisikan tautan penerusan (pembaca tag) berisi keduanya yang berkesinambungan gelombang (CW) dan perintah termodulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Aktif tautan balik (tag ke pembaca), data dikirim kembali pada waktunya salah satu periode CW ketika impedansi tag memodulasi sinyal hamburan balik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliteh N, Misron N, Aris I, Mohd Sidek R, Tashiro K, Wakiwaka H. 2018. Triple Flat-Type Inductive-Based Oil Palm Fruit Maturity Sensor. *Sensors*. 18(8): 2496.
- Chew, C.L.; Ng, C.Y.; Hong, W.O.; Wu, T.Y.; Lee, Y.Y.; Low, L.E.; Kong, P.S.; Chan, E.S. Improving Sustainability of Palm Oil Production by Increasing Oil Extraction Rate: A Review. *Food Bioprocess Technol*. 2021, 14, 573–586.
- Dzuljalal, A.; Seri, M. Development of Virescens Fresh Fruit Bunch Ripeness Prediction Using LiDAR for Smart Agriculture. In *Proceedings of the 2021 IEEE Region 10 Symposium*, Jeju, Republic of Korea, 23–25 August 2021.
- Du WY. 2014. Resistive, capacitive, inductive, and magnetic sensor technologies: CRC Press
- Iqbal Z, Herodian S, Widodo S. 2015. Pendugaan Kadar Air dan Total Karoten Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Menggunakan NIR Spektroskopi. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 2(2).
- Kachanoski R, WESENBEECK IV, Gregorich E. 1988. Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. *Canadian Journal of Soil Science*. 68(4): 715-722.
- Lai O-M, Tan C-P, Akoh CC. 2015. Palm oil: production, processing, characterization, and uses: Elsevier.
- Minnaert B, Thoen B, Plets D, Joseph W, Stevens N. 2018. Wireless energy transfer by means of inductive coupling for dairy cow health monitoring. *Computers and electronics in agriculture*. 152: 101-108

Misron N, Harun N, Lee Y, Sidek R, Aris I, Wakiwaka H, Tashiro K. 2014. Improvement in sensitivity of an inductive oil palm fruit sensor. *Sensors*. 14(2): 2431-2448.

Pavel V. Nikitin and K. V. S. Rao Theory and Measurement of Backscattering from RFID Tags, Intermec Technologies Corporation 6001 36th Ave W, Everett, WA 98203, USA.

R. Sinambela, T. Mandang, I. D. M. Subrata, and W. Hermawan, "Application of an inductive sensor system for identifying ripeness and forecasting harvest time of oil palm," *Sci Hortic*, vol. 265, p. 109231, 2020, doi: 10.1016/j.scienta.2020.109231.

YONG YE, CHIYA ZHANG, CHUNLONG HE¹, (MEMBER, IEEE), XI (VINCENT) WANG, JIANJUN HUANG¹, (Member, and JIAHAO DENG A review on applications of capacitive displacement sensing for capacitive proximity sensor, *IEEE Access*, VOLUME 4, 2016, DOI 10.1109/ACCESS.2020.2977716, IEEE Access.

Abdul Hallis Abdul Aziz et al, Test Frequency Optimization Using Single Factor ANOVA for Capacitive Oil Palm Fruit Ripeness Sensor To cite this article: 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 932 012073. doi:10.1088/1757-899X/932/1/012073

Planar capacitive type humidity sensor fabricated using PTB7-Th by facile solution processing approach doi.org/10.1007/s00339-018-2297-7

<https://www.atlasrfidstore.com/rfid-beginners-guide/>

The Capacitive Humidity Sensor How it Works & Attributes of the Uncertainty Budget 135 Engineers Road, Hauppauge, NY 11788

BAB 5

PIEZOELELTRIC

Oleh Desak Ketut Sutiari

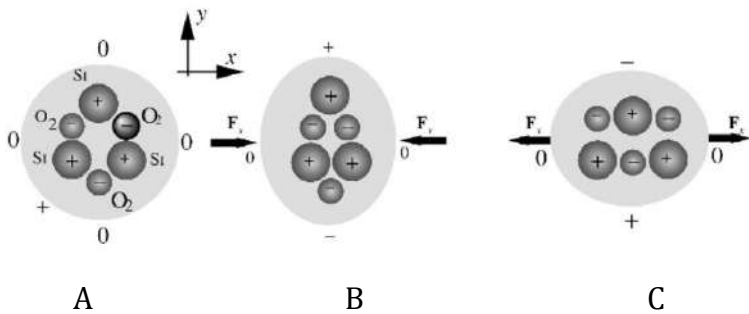
5.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi didasari dengan pengapilaksian alat-alat yang melibatkan sensor dan komponen-komponen elektronika lainnya. Ilmu pengetahuan dan teknologi dimanfaatkan dan dikembangkan oleh manusia untuk dapat membantu pekerjaan mereka sehingga dapat menyelesaikan pekerjaan dengan lebih mudah dan efesien. Perkembangan teknologi dibidang alat -alat elektronika dan alat-alat kesehatan juga berjalan seiring dengan peralatan elektronika lainnya (Cholik, 2004). Penggunaan kristal piezoelektrik sebagai salah satu komponen pendukung teknologi banyak diterapkan. Oleh karena itu, mahasiswa dituntut agar mampu beradaptasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tersebut. Semakin modern sebuah zaman maka semakin banyak manusia yang mengembangkan iptek untuk mempermudah pekerjaannya dan hidupnya. Penggunaan rangkaian piezoelectric telah banyak dirancang tergantung dengan keinginan manusia itu sendiri. Sistem ini dapat melakukan fungsi-fungsi kontrol secara otomatis sebagai transduser dan aktuator pada beberapa alat kesehatan dan industri (Effendi & Newton, 2020). Sensor piezoelektrik banyak diaplikasikan atau dirancang untuk pembangkit listrik alternatif. Piezoelektrik akan menghasilkan gaya gerak listrik ketika memperoleh gaya dari luar (Ashari, 2021).

Melalui materi tentang piezoelectric sebagai salah satu pendukung teknologi transduser dewasa ini diharapkan materi ini dapat menambah pengetahuan bagi pembaca.

5.2 Efek Piezoelektric

Kata Piezoe berasal dari kata Yunani yang berarti menekan. Piezoelektric atau efek piezoelectric adalah sebuah efek yang terjadi pada zat kristal atau sebuah material yang dapat menghasilkan besaran listrik atau muatan listrik pada saat mendapat tekanan atau getaran. Efek pada piezoelectric bersifat reversibel atau berkebalikan. Pada saat mendapat tekanan akan menghasilkan besaran listrik dan sebaliknya pada saat mendapat arus listrik akan menghasilkan besaran mekanik. Efek piezoelektric terjadi pada bahan alami seperti kuarsa (SiO_2) dan keramik buatan (terpolarisasi buatan) dan beberapa material polimer seperti polivinilidena fluoride. Beberapa bahan keramik menunjukan efek piezoelectric diantaranya timbal-Zirkonat-Titanat (PZT), Timbal-Titanat (PbTiO_2), Timbal-Zirkonat (PbZrO_3) dan Barium-Titanat (BaTiO_3). Keramik bukan bahan piezoelektrik namun menunjukan efek elektrostriktif terpolarisasi. Jadi bahan harus dibentuk sebagai kristal tunggal agar benar-benar piezoelectric. Pada dasarnya bahan piezoelektric mempunyai sifat feroelektrik. Piroelektrik adalah zat kristal yang mampu menghasilkan muatan listrik akibat di diberikan aliran panas.

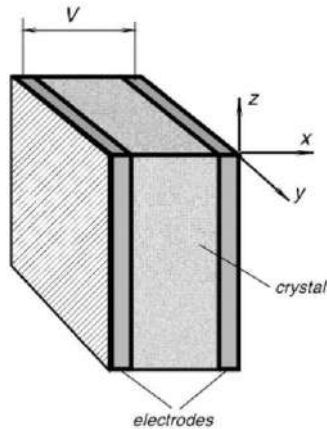


Gambar 5. 1. Efek piezoelektrik pada kristal kuarsa
(Fraden, J. 2016)

Efek piezoelectric bahan kuarsa ditemukan oleh Curie bersaudara pada tahun 1880, namun pada waktu itu penggunaannya sangat sedikit. Penggunaan secara praktis hingga tahun 1917, pada saat orang Prancis Profesor P. Langevin menggunakan pelat kuarsa untuk menghasilkan dan mendeteksi gelombang suara di dalam udara, dimana karya ini mengarah ke perkembangan sonar. Pada tahun 1927, Krzysztof Antoni Meissner menyederhanakan model efek piezoelectric yaitu heliks pada kristal kuarsa yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 (Fraden, 2016).

Model kristal kuarsa memiliki 1 atom Silicon dan dua atom Oksigen, pada gambar 5.1. A sebuah kristal kuarsa dipotong sepanjang sumbu x, y dan tampilan sepanjang sumbu z. Terdapat 3 atom Silikon dan enam atom Oksigen, setiap atom silikon membawa empat 4 muatan positif dan atom Oksigen membawa empat muatan negative. Oleh karena itu kuarsa bersifat netral secara listrik pada saat tidak ada tegangan. Pada saat diberikan gaya eksternal sepanjang sumbu x Gambar 5.1. B, kisi heksagonal berubah bentuk. Gaya kompresi menyebabkan atom bergeser sedemikian rupa sehingga muatan positif terbentuk pada sisi atom silikon dan muatan negatif pada sisi pasangan Oksigen. Hal ini menyebabkan kristal; mengembangkan muatan listrik sepanjang sumbu y. Jadi, kristal mengembangkan muatan

listrik sepanjang sumbu y . Jika kristal diregangkan sepanjang sumbu x seperti Gambar 5.1. C, maka muatan dengan polaritas berlawanan akan terbentuk sepanjang sumbu y . Model sederhana ini menggambarkan bahwa material kristal dapat menyebabkan kiriman listrik pada permukaan sebagai respons terhadap tekanan.



Gambar 5. 2. Pengaplikasian elektroda pada bahan kristal kutub pada sensor piezoelectric

(Fraden, J. 2016)

Muatan pada piezoelectric dapat di peroleh dengan menghubungkan elektroda konduktif pada kristal pada sisi potongan yang berlawanan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2. Pada saat ini sensor piezoelectric akan menjadi kapasitor dengan bahan dielektrik yaitu kristal piezoelectric. Walaupun muatan dalam kristal terbentuk di daerah gaya bekerja, elektroda pada logam akan menyamakan muatan disepanjang muatan di sepanjang permukaan. Hal ini membuat kapasitor tidak sensitive secara optik. Efek piezoelektic adalah sebuah fenomena yang dapat dibalik. Yaitu, penerapan tegangan pada kristal akan menghasilkan regangan mekanis. Penempatan elektroda pada kristal dapat digunakan untuk menyalurkan tegangan kristal dan

pasangan elektroda lainnya untuk mengambil muatan yang dihasilkan dari efek tegangan.

Besarnya efek piezoelectric dapat direpresentasikan dalam bentuk yang disederhanakan dengan vector polarisasi

$$\mathbf{P} = P_{xx} \mathbf{e}_x + P_{yy} \mathbf{e}_y + P_{zz} \mathbf{e}_z \quad 5.1$$

Dimana x, y, dan z mengacu pada sistem orthogonal konvensional yang berhubungan dengan sumbu kristal. Dalam hal ini Tekanan axial, σ , dapat dituliskan pada persamaan 5.2.

$$\begin{aligned} P_{xx} &= d_{11}\sigma_{xx} + d_{12}\sigma_{yy} + d_{13}\sigma_{zz} \\ P_{yy} &= d_{21}\sigma_{xx} + d_{22}\sigma_{yy} + d_{23}\sigma_{zz} \\ P_{zz} &= d_{31}\sigma_{xx} + d_{32}\sigma_{yy} + d_{33}\sigma_{zz} \end{aligned} \quad 5.2$$

Dimana konstanta d_{mn} adalah koefisien piezoelektik sepanjang sumbu orthogonal potongan kristal. Dimensi koefisien adalah C/N (Coulomb/Newton) yang merupakan banyaknya muatan persatuan gaya. Untuk memudahkan perhitungan telah didefinisikan koefisien g yang bergantung oleh konstanta dielektik absolut, seperti persamaan 5.3

$$g_{mn} = \frac{d_{mn}}{\epsilon_0 \epsilon_{mn}} \quad 5.3$$

Koefisien ini mewakili gradien tegangan (medan listrik) yang dihasilkan oleh kristal per unit tekanan, dimana dimensinya adalah

$$\frac{V}{m} / \frac{N}{m^2}$$

Koefisien lainnya yaitu h , yang diperoleh dengan mengalikan koefisien g dengan modulus Young yang sesuai untuk sumbu kristal yang sesuai. Koefisien h memiliki dimensi

$$\frac{\text{V}}{\text{m}} / \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Jadi kristal piezoelektic merupakan perubahan langsung energi mekanik menjadi energi listrik. Efisiensinya conversinya dapat di hitung dari koefisien coupling k_{mn} yang didefinisikan pada persamaan 5.4.

$$k_{mn} = \sqrt{d_{mn} h_{mn}} \quad 5.4$$

Koefisien k adalah karakteristik penting untuk aplikasi yang mengutamakan efisiensi energi, misal pada akustik dan ultrasonik.

Pada dasarnya muatan yang dihasilkan oleh kristal piezoelectric sebanding dengan gaya yang diterapkan, misalnya pengamatan pada arah x maka muatan Q adalah

$$Q_x = d_{11} F_x \quad 5.5$$

Diketahui kristal dengan lektroda yang ditampung membentuk kapasitor dengan kapasitansi C , tegangan V yang selanjutnya dapat diperoleh tegangan antara elektroda adalah

$$V = \frac{Q_x}{C} = \frac{d_{11}}{C} F_x \quad 5.6$$

Dalam hal ini kapasitansi untuk plat sejajar didefenisikan

$$C = \frac{K \epsilon_0 A}{d} \quad 5.7$$

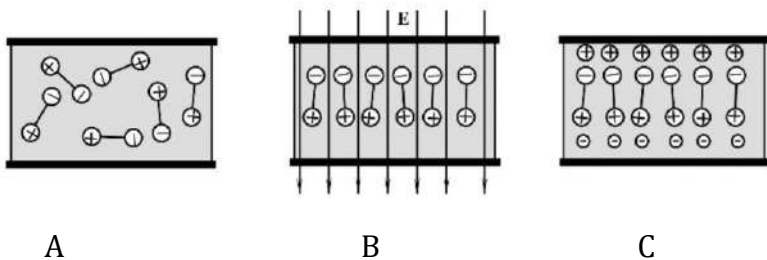
Pada permukaan elektroda dengan luas A , dan ketebalan kristal l dituliskan seperti persamaan 5.8

$$C = K \epsilon_0 \frac{a}{l} \quad 5.8$$

Dimana ϵ_0 adalah constanta permitivitas dan K adalah konstanta dielektrik. Selanjutnya tegangan outputnya adalah

$$V = \frac{d_{11}}{c} F_x = \frac{d_{11}}{K \epsilon_0 a} F_x \quad 5.9$$

Pembuatan sensor PZT keramik dimulai dengan oksida logam kemurnian tinggi dalam bentuk bubuk halus dengan komposisi kimia tertentu. Melalui proses kalsinasi campuran dikenakan suhu tinggi. Selanjutnya hasil kalsinasi dicampur dengan bahan pengikat organik padat dan atau cair yang akan membentuk sebuah campuran bentuk yang diinginkan. Pembentukan dilakukan dengan menekan dibawah kekuatan piston, pengecoran lalu dibiarkan kering, ekstrusi (menekan campuran melalui cetakan) dan dengan cara tape casting (Menarik cairan kental ke sabuk bergerak halus). Selanjutnya campuran yang telah dibentuk dimasukkan ke dalam tanur diatur pada suhu yang dikontrol. Struktur kristal terbentuk ketika material didinginkan. Ketika bahan telah dingin, elektroda kontak diterapkan ke permukaannya (Fraden, 2016).



Gambar 5. 3. Poling termal bahan piezoelektrik
(Fraden, 2016)

Terjadinya efek piezoelectric erat kaitannya dengan momen dipol listrik pada suatu material. Efek ini dapat dapat dirancang untuk ion di situs kisi kristal, misal pada BaTiO_3 dan PZTs. Kristalitas (sel kristal) dalam metrial dianggap sebagai dipol listrik. Pada material kuarsa sel-sel secara alami berorientasi pada sumbu kristal, sehingga memiliki sensitivitas terhadap tekanan. Sedangkan pada material lain memerlukan

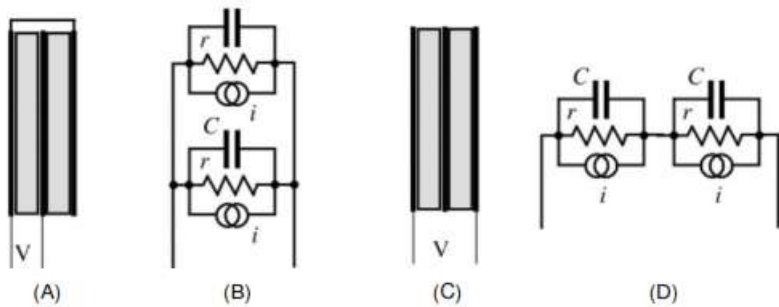
proses khusus agar material memiliki ikatan piezoelectric yang tepat. Proses agar material bisa bersifat piezoelektrik dapat menggunakan beberapa teknik poling yaitu poling termal dan poling korona. Proses poling yang populer adalah poling termal yang meliputi Langkah-langkah berikut:

1. Bahan kristal (film keramik atau polimer) pada Gambar 4.3 A dipanaskan sedikit dibawah temperatur Curie, Pada beberapa kasus untuk film PVDF materialnya diberi tekanan. Melalui pemansan suhu tinggi akan menghasilkan dipol yang lebih kuat dan memungkinkan mengarahkan ke arah yang diinginkan
2. Bahan ditempatkan dalam medan listrik kuat E agar dipol sejajar sepanjang garis medan pada Gambar 5.3 B Dipol masih menyimpang kuat dari arah bidang, namun orientasi dipol dominan secara statistic tetap dipertahankan.
3. Material didinginkan dan medan listrik pada ketebalannya dipertahankan.
4. Medan listrik dihilangkan dan proses poling selesai. Jika suhu dipertahankan dibawah suhu Curie maka material terpolarisasi permanen jika tidak maka bahan kehilangan sifat piezoelektriknya. Dipol tetap sesuai arah yang ditentukan oleh medan listrik pada suhu tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3 C.

Metode Poling pelepasan korona merupakan metode pengkutuban lain yang dapat digunakan untuk membuat bahan piezoelectric. Film dikenai pelepasan coronadari elektroda dengan ketebalan beberapa juta volt per sentimeter . Proses ini selesai dalam waktu 40-50 detik. Proses pelepasan korona mudah diterapkan dan dapat diterim apada suhu kamar. Proses dapat diselesaikan sebelum bahan mengalami kerusakan akibat reaksi listrik. Setelah proes selesai beberapa hal dilakukan yaitu proses permesinan, penggilingan dan pemotongan. Setelah

100

element sensor disiapkan, selanjutnya dimasukan ke rumah sensor dimana elektroda dihubungkan pada terminal listrik dan komponen listrik lainnya. Setelah poling, kristal terpolarisasi permanen namun kristal bermuatan listrik dalam waktu singkat. Terdapat banyak pembawa muatan bebas yang bergerak dalam pengaturan medan listrik dan tedapat banyak ion diudara. Pembawa muatan bergerak menuju dipol kutub dab menetralkan muatannya seperti ditunjukkan pada gambar 5.3 C. Oleh karena itu sebuah material piezoelectric setelah beberapa saat berkutub menjadi bermuatan listrik dalam kondisi tunak. Ketika sebuah tekanan diterapkan atau udara berhembus disekitar permukaannya keadaan keseimbangan terdegradasi dan bahan piezoelectric menghasilkan muatan listrik.



Gambar 5. 4. Piezoelectric multi lapis yang dilaminasi
(Fraden, 2016)

Elemen piezoelektrikc terbuat dari kristal tunggal atau multilapis dengan cara beberapa pelat dilaminasi menjadi satu. Multilapis de susun dengan elektroda ditempatkan di salah satunya. Gambar 5.4 menunjukan sensor gaya 2 lapis. Pada saat gaya mengenai bagian atas sensor mengambang sedangkan bagian bawah terkompresi. Jika laminasi dilakukan dengan benar akan menghasilkan sinyal keluaran ganda. Pada kristal multilapis dapat memiliki sambungan parallel Gambar 5.4 A dan serial Gambar 5.4 C. Rangkaian ekevalen listrik sensor merupakan

sambungan paralel dari sumber arus yang menginduksi tegangan (V) resistansi (R) dan kapasitansi (C).

Berikut adalah sifat unik film piezoelectric:

1. Frekuensi pada rentang yang lebar : 0,001 Hz sampai 10⁹ Hz
2. Rentang luas dinamis :10⁻⁸-10⁶ psi
3. Impendansi akustik rendah: mendekati udara, jaringan manusia, dan sistem perekat barang
4. kepatuhan elastisitas rendah
5. Tegangan output tinggi : 10 menit lebih tinggi dibanding keramik piezo untuk gaya yang sama
6. Kekuatan dielektrik tinggi : tahan terhadap medan kuat hingga 75 V/ μ m, dimana Sebagian besar keramik piezo mengalami depolarisasi
7. Kuat mekanik ketahanan terhadap benturan tinggi : 10⁹-10¹⁰ P modulus
8. Stabilitas tinggi : tahan pada kelembaban (<0,02% penyerapan udara
9. Mudah dibentuk dalam berbagai bentuk
10. Dapat direkatkan dengan perekat komersial.

5.3 Aplikasi Piezoelektic

Piezoelektrik yang dapat membangkitkan gelombang ultrasonik telah banyak diaplikasikan sebagai komponen dalam sebuah rangkaian elektronika, diantaranya adalah sebagai sensor, transduser, aktuator dan pembangkit listrik. Material piezoelektrik banyak diterapkan pada bidang keamanan, pertanian, perikanan dan juga kesehatan. Aplikasikan pada beberapa sistem seperti print inkjet dan untuk mendeteksi suara. Secara komersial banyak ditemui aplikasi keramik piezoelektrik seperti hidro phone, kipas (fan), sensor produksi, pencacah, dan sistem keamanan. Peralatan-peralatan komputer banyak terbuat

102

dari keramik piezoelektrik seperti pada printer ink jet, aktuator mikro disk drive, dan keyboard. Barang-barang konsumsi dirumah tangga juga menggunakan keramik piezoelektrik seperti lonceng telepon, speaker, alat penyemprot, alarm untuk sistem keamanan, detektor asap, sensor ultrasonik untuk otomatisasi, dan lain sebagainya. Di industri, keramik piezoelektrik digunakan untuk pembersih ultrasonik, pengelasan ultra sonik, klep pneumatik dan lain-lain. Pada bidang medis, keramik piezoelektrik digunakan pada sistem monitor jantung janin, sistem diagnosis aliran darah, alat ukur/kontrol aliran, alarmmonitor pasien, pompa insulin, ultrasonic imaging, dan lain-lain (APC Intetnational, 2023).

5.3.1 Mikropon Piezoelektrik

Transduser piezoelektrik dapat diaplikasikan dengan mudah pada frekuensi gelombang ultrasonik, dengan rentang frekuensi tinggi MHz. Misalnya pada mikropon piezoelektrik yang memanfaatkan fenomena dari efek piezoelektrositas. Tipe mikropon crystal asli digunakan kristal garam rochelle yang dihubungkan ke diafragma. Hal ini menjamin tingkat output tinggi (sekitar 100 mV), dengan impedansi output yang sangat tinggi dan linearitas rendah. Garam rochelle tidak baik digunakan dalam waktu yang lama karena sifat yang mengalami perubahan, yaitu tidak aktif pada suhu dan kelembaban tinggi. Pada kristal tunggal sensitivitas material piezoelektrik modern mempengaruhi gelombang suara dalam hal keluarannya. Pada umumnya mikrofon jenis ini dibuat dalam bentuk jenis operasi tekanan, karena salah satu sisi kristal biasanya digunakan untuk pengaman rakitan ke casingnya. Mikropon piezoelektrik memiliki tingkat impedansi sangat tinggi yaitu beberapa Megaohm. Impedansi sangat tinggi mengakibatkan dengungan elektrostatis dan masalah efek pemuatan dan penyaringan pada kabel mikropon. Untuk itu transduser kristal dapat digabungkan langsung ke preamplifier MOS yang dapat memberikan keluaran

impedansi rendah pada level tegangan tinggi seperti yang disediakan transduser piezoelektrik.

Aplikasi bahan piezoelektrik dapat juga diterapkan pada *buzzer* atau speaker dengan memanfaatkan efek piezoelektrik untuk menghasilkan suara atau bunyi. Pada saat tegangan listrik diberikan pada bahan piezoelektrik akan menyebabkan gerakan mekanis. Gerakan mekanis yang dihasilkan diubah menjadi suara sehingga dapat didengar oleh telinga (Sinclair, 2001).

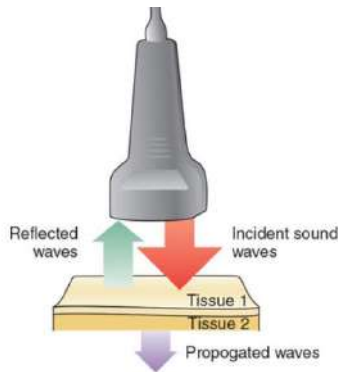
5.3.2 Transduser dan Aktuator

Piezoelektrik sebagai sensor dan aktuator menerapkan efek piezoelektrik berkebalikan. Pada saat kristal keramik piezoelektrik diberikan tegangan dengan ketebalan 1 mm maka terjadi getaran mekanis sebaliknya saat kristal diberikan getaran akan menghasilkan tegangan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5. Getaran mekanis menghasilkan gelombang ultrasonik. Komponen ini kemudian di aplikasikan pada sensor ultrasonik. Material piezoelektrik digunakan untuk membangkitkan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk mendeteksi jarak, mendeteksi tinggi, dan mendeteksi adanya benda. Pada bidang kesehatan banyak diterapkan pada alat-alat kesehatan misalnya digunakan untuk mendeteksi detak jantung janin pada alat fetal doppler, mendeteksi citra janin dalam kandungan dan organ tubuh melalui alat USG.



Gambar 5. 5. Proses berkebalikan efek piezoelektrik

Pada alat USG doppler material piezoelektrik diaplikasikan pada probe. Melalui probe yang dapat membangkitkan gelombang ultrasonik pada saat diberikan arus listrik. Pada saat gelombang mengenai objek maka gelombang akan dipantulkan kembali ke probe pada bahan piezoelektrik. Getaran pada yang mengenai bahan piezoelektrik di probe diubah menjadi sinyal listrik kemudian diolah oleh CPU (*Central Processing Unit*). Hasil CPU di tampilkan dalam bentuk citra pada layar monitor. Proses pancaran gelombang mengenai objek dan dipantulkan saat mengenai objek ditunjukkan pada gambar 5.6. Pada proses ini piezoelektrik sebagai transduser yang membantu mengubah sinyal mekanis menjadi listrik dan sebaliknya (Rodiani, 2019).



Gambar 5. 6. Proses gelombang transduser di pancarkan dan di refleksikan
(radiologykey.com)

Material piezoelektrik pada sensor ultrasonik dapat digunakan untuk mendeteksi jarak berdasarkan prinsip pantulan gelombang ultrasonik. Sensor ultrasonik menggunakan suara untuk menentukan jarak antara sensor dan target. Umumnya alat dalam hal ini transmitter akan menembakan gelombang frekuensi tinggi (umumnya 40 kHz) ke suatu area atau target saat gelombang yang dipancarkan mengenai permukaan target maka gelombang dipantulkan oleh target. Gelombang pantulan di terima oleh receiver kemudian diolah dengan menghitung selisih antara waktu pemancaran gelombang dan waktu gelombang

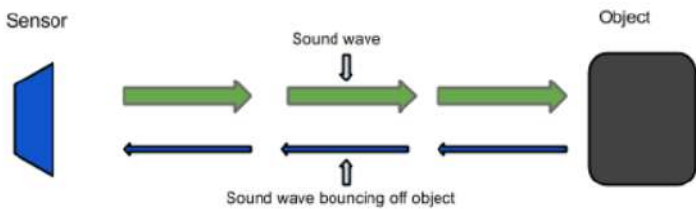
pantul diterima. Gambar 5.7 menunjukkan bentuk sensor ultrasonik HC-SR04 dan simulasi gelombang pancar dan pantul. Jarak tempuh gelombang dapat dihirung dengan persamaan 1 (Morgan, 2014).



Gambar 5. 7. Sensor ultrasonik HC-SR04

$$d = vx \frac{t}{2} \tag{ 1 }$$

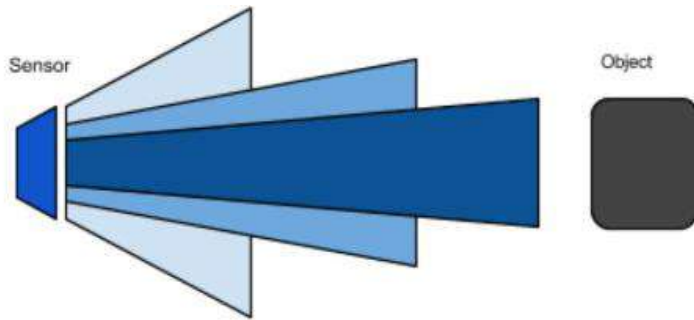
Dimana: d = jarak sensor dan benda, (m)
v = kecepatan bunyi 340 m/s berdasarkan kondisi udara,
t = jarak tempuh gelombang (detik)



Gambar 5. 8. Pengiriman gelombang suara ke objek dan dipantulkan kembali ke sensor
(Morgan, 2014)

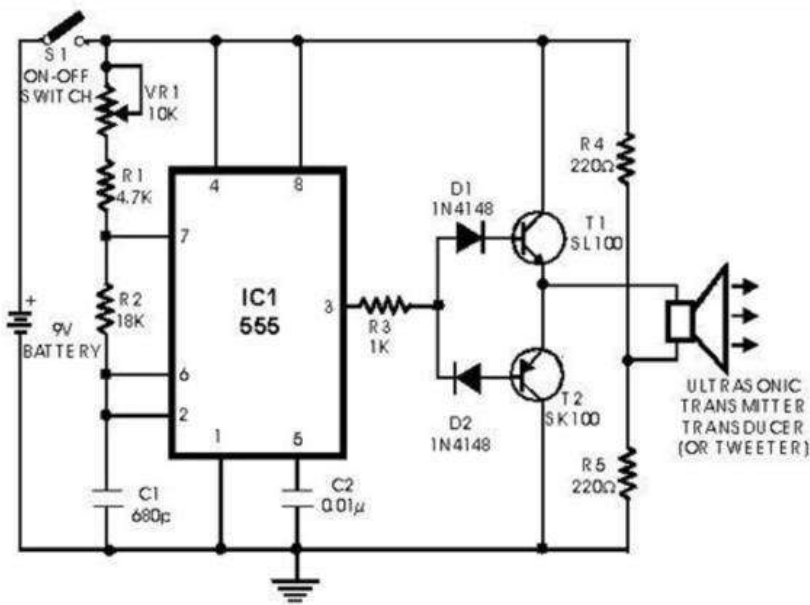
Gambar 5.8 menunjukkan pancaran dan pantulan gelombang suara. Mendeteksi objek dengan sensor ultrasonik sangat dipengaruhi oleh permukaan objek. Pada saat benda memiliki

permukaan tidak datar maka gelombang suara akan memantul sehingga tidak kembali ke sensor, dan jika objek terlalu jauh maka tidak ada gelombang yang diterima oleh sensor. Simulasi gelombang sensor ke objek ditunjukkan pada Gambar 5.9.



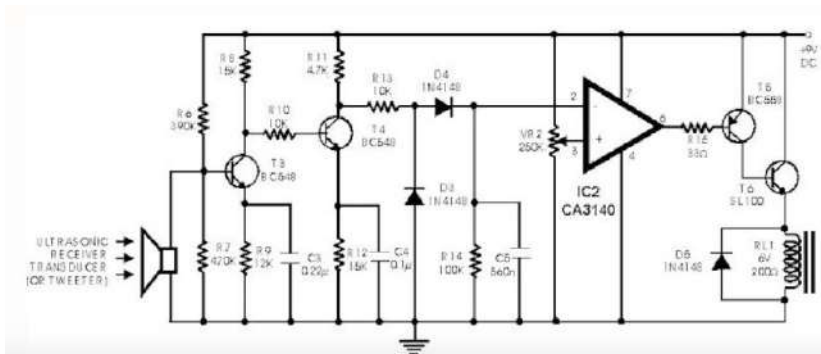
Gambar 5. 9. Pancaran gelombang dari sensor ke objek tidak rata atau jauh
(Morgan, 2014)

Rangkaian sensor ultrasonik terdiri atas komponen *transmitter* yang berfungsi sebagai pemancar gelombang ultrasonik. *Transmitter* memiliki rangkaian frekuensi yang dihasilkan berdasarkan rangkaian osilator seperti ditunjukkan Gambar 5.10.



Gambar 5. 10. Rangkaian Transmitter
(Alkairi, 2022)

Rangkaian *reciever* terdiri atas transduser ultrasonik berbahan piezoelektrik yang berfungsi sebagai penerima gelombang pantulan yang berasal dari *transmitter*. Elemen piezoelektrik dapat membangkitkan tegangan listrik pada saat gelombang datang memiliki frekuensi resonan. Rangkaian *reciever* ditunjukkan pada gambar 5.11.



Gambar 5. 11. Rangkaian reciever

DAFTAR PUSTAKA

- APC International, piezo ultrasonic sensor applications.
<https://www.americanpiezo.com/>. Diakses 2 Oktober 2023
- Anonim, 2023. Physics of Ultrasound.
<https://radiologykey.com/physics-of-ultrasound-2/>.
Diakses 30 Oktober 2023.
- Alkairi, M. H. (2022). *Cara Kerja Sensor Ultrasonik dan Aplikasinya dalam Kehidupan*.
- Ashari, M. (2021). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Speed Bump (Polisi Tidur) Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Sensor Piezoelektrik*. 2021.
[http://eprints.unisla.ac.id/286/%0Ahttp://eprints.unisla.ac.id/286/5/081710024-M FERI BANI - bab ii.pdf](http://eprints.unisla.ac.id/286/%0Ahttp://eprints.unisla.ac.id/286/5/081710024-M%20FERI%20BANI%20-%20bab%20ii.pdf)
- Cholik, C. A. (2004). Perkembangan Teknologi Informasi Komunikasi/ICT Dalam Berbagai Bidang. *Jurnal Fakultas Teknik*, 1, 1–14.
- Effendi, H., & Newton, I. (2020). Rancang Bangun Alat Pembersih Bearing Menggunakan Gelombang Suara Ultrasonik. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 30(2), 8.
<https://doi.org/10.37277/stch.v30i2.771>
- Fraden, J. (2016). Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications. In *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19303-8>
- Morgan, E. J. (2014). *HC-SR04 ETC2 | Alldatasheet*.
- Rodiani. (2019). Prinsip Kerja Ultrasonografi Doppler pada Kehamilan. *JK Unila*, 3(1), 182–185.
- Sinclair, I. R. (2001). *Sensors and Transducers Third edition*. Elsevier, 319.
[http://senofficial.yolasite.com/resources/sensors and transducers.pdf](http://senofficial.yolasite.com/resources/sensors_and_transducers.pdf)

BAB 6

SENSOR OPTIK

Oleh Usman Umar

6.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang sangat pesat saat ini dimana berbagai peralatan dapat dioperasikan secara otomatis dan dari jarak yang jauh. Pengontrolan dan pengoprasian alat secara otomatis didukung oleh penggunaan sensor, baik sensor mekanik, sensor optik dan sensor lainnya. Sensor optik sudah banyak digunakan untuk berbagai peralatan seperti dalam dunia kesehatan penggunaan sensor optik untuk pengukuran kadar kolesterol darah menggunakan Near infrared sensor sebagai pengganti strip pengambilan sampel darah.(Umar et al. 2020).(Umar et al. 2020) Sensor optik juga dikembangkan untuk memantau glukosa dan kolesterol dengan teknik non-invasive dengan memanfaatkan Light Emitter Diode (LED) infrared dan photodiode, dengan menggunakan sensor optik jenis reflective ini dapat mendeteksi kadar glukosa dan kolesterol total sehingga memudahkan dan lebih efisien mengontrol kesehatan seseorang.(Umar, Syarif, and Nurtanio 2021). Penggunaan sensor optik untuk memantau kondisi kadar asam urat pada darah dengan memanfaatkan sinar inframerah, kadar asam urat dapat dideteksi melalui aliran darah vena. (Usman Umar, Hasmah, Risnawaty Alyah 2021). Selain penggunaan sensor optik pada peralatan kesehatan juga banyak digunakan pada peralatan industri lainnya seperti sensor optik untuk menghitung hasil produksi, untuk pintu otomatis, sebagai remote control dan masih banyak penggunaan lainnya seperti melakukan pengukuran dimensi suatu media data bahan kulit sebagai bahan

untuk kerajinan tas, sepatu dan lain lain. (Wahyu and Effendi 2022). Sensor optik banyak digunakan pada industri manufaktur dalam proses produksi, sensor digunakan untuk mendeteksi objek yang berfungsi untuk mengontrol sehingga pengoprasian mesin mesin manufaktur dapat beroperasi secara otomatis..

6.2 Pengertian Sensor Optik

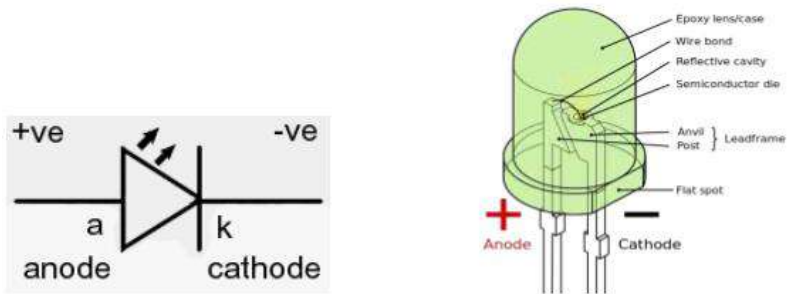
Sensor Optil merupakan piranti yang dapat mendeteksi keberadaan cahaya, dengan mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Sensor optik terdiri dari dua bagian yaitu bagian transmitter (Tx) dan receiver (Rx), transmitter pada umumnya menggunakan Light Emiting Diode (LED) sebagai pemancara cahaya dan receiver pada umumnya menggunakan Light dependent resistor (LDR), Photodiode atau Photo-Transistor. Photodiode merupakan diode yang resistansinya dapat berubah - ubah apabila terkena cahaya. insentitas cahaya dapat mempengaruhi nilai resistansi photdiode, insentais cahaya yang besar maka nilai resistansi photodiode lebih kecil, sebaliknya resistansi cahaya maka nilai resistansi photodiode lebih besar.(Wahyu and Effendi 2022).

Sensor optik pada umumnya menggunakan, LED, laser dioda, LED infra merah sebagai Transmitter dan LDR, Photodiode dan Photo-transistor, dijelaskan sebagai berikut:

6.2.1 Light Emiting Diode (LED)

Light Emiting Diode (LED) merupakan komponen yang dapat memancarkan cahaya ketika mendapat arus bias maju (forward bias). Struktur dari LED seperti dengan dioda, sehingga hanya dapat mengalirkan arus listrik searah. Kemampuan LED mengalirkan arus listrik searah sangat rendah yaitu maksimum 20 mA, sehingga untuk membatasi arus listrik dipasang resistor. LED memiliki 2 kaki terminal yaitu kaki anoda dan kaki katoda, kaki anoda pada umumnya lebih panjang dari kaki katoda disaat

masih baru, LED dapat memancarkan cahaya jika beri arus listrik bias maju dengan menghubungkan tegangan listrik positif ke kaki anoda dan negatif ke kaki katoda, dan pembatas arus dapat dipasang resistor pada salah satu kaki.



Gambar 6. 1. Simbol Elektronik light emitting diode (LED)

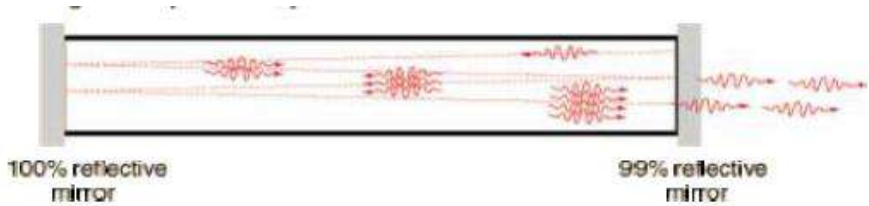
(Sumber : (Md Meganur Rhaman 2018)

6.2.2 Laser Dioda

Laser merupakan singkatan dari Light Aplication by Stimulated Emission of Radiation yang merupakan penguatan cahaya melalui emisi dari radiasi yang distimulasi atau dirangsang. Sinar laser berdasarkan sifatnya dibagi menjadi yaitu laser kontiniu (CW) dan laser pulsa, laser kontiniu cahaya yang dipancarkan konstant selama medium asernya dieksitasi, dan laser pulsa cahaya yang dipancarakan dalam bentuk pulsa pada waktu dan interval tertentu.

Penggunaan laser untuk sensor optik pada umumnya menggunakan laser dioda karena bentuk dan ukurannya yang kecil, kompak, dan mudah dioperasikan serta lebih murah dibanding dengan laser lainnya. Laser diode digunakan sebagai emitting atau pemancar cahaya untuk sensor optik, yang dipasangkakan dengan LDR atau photo-transistor sebagai reciever pantulan cahaya dari laser. Cahaya dari laser direflesikan

berulang ulang sehingga cahaya yang dikeluarkan bentuk sinar yang berfokus pada satu objek.(Kurniawan 2019).



Gambar 6. 2. Mekanisme Laser
(Sumber : (Kurniawan 2019))

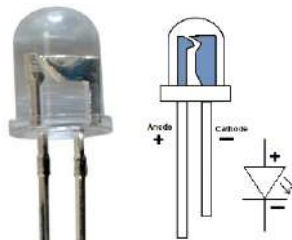
Karakteristik sinar laser menurut para ahli antara lain adalah:

- Koheren yang berarti bahwa setiap bagian pada laser saling berhubungan dalam fasenya, hubungan ini terjadi karena satu fase saling menguatkan fase lainnya, sehingga menyebabkan efek penguatan yang memungkinkan untuk digunakan untuk teknologi hologram.
- Monokromatik yang dimaksudnya bahwa cahaya laser terdiri dari satu panjang gelombang yang konstant yang dihasilkan oleh emisi atom pada level energi yang sama
- Fokus dimaksudkan adalah karena laser merupakan cahaya yang diperkuat karena refleksi maka cahaya yang dikeluarkan bergerak lurus dan terarah pada satu titik.

6.2.3 Light Emiting Dioda (LED) Infrared

LED infrared atau infra merah merupakan salah satu LED yang memancarkan sinar merah yang tidak dapat dilihat langsung oleh mata. Sinar infra merah merupakan gelombang cahaya pada spektrum cahaya tak nampak oleh mata. LED infra merah memancarkan gelombang cahaya merah apabila diberikan tegangan bias maju pada anoda dan katoda yang ada pada

diodanya. LED infra merah dibuat dari bahan Galium Arsenida (GaAs). Panjang gelombang cahaya infra merah sekitar $0,3 \mu\text{m} - 0,3 \text{ mm}$, dengan frekuensi $10^{12} - 4,3 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Cahaya infra merah memiliki jangkauan frekuensi yang lebar sehingga penggunaan infra merah sangat fleksibel. LED infra merah dapat menyerap arus yang lebih besar dibanding dengan dioda lainnya. Apabila arus yang mengalir besar maka daya pancar cahaya semakin besar dan semakin jauh jangkauan cahayanya.

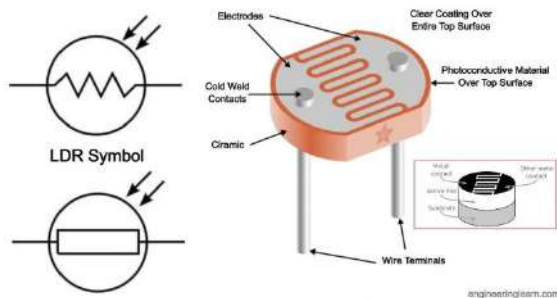


Gambar 6. 3. Bentuk LED Infra merah
(Sumber : (Kurniawan 2019))

Bentuk konstruksi LED infra merah tidak mudah terkontaminasi atau teresonansi dengan cahaya lainnya, sehingga dapat digunakan siang maupun malam. LED infra merah sudah banyak diaplikasikan penggunaannya seperti diaplikasikan sebagai transmitter pada remote kontrol, digital temperatur meter, alat ukur digital dan link detektor pada pintu gerbang serta sensor untuk robot. Selain itu cahaya infra merah dapat juga diaplikasikan sebagai link pada jaringan telekomunikasi. Cahaya yang dipancarkan LED infra merah ditangkap atau diterima oleh receiver biasa menggunakan photo-transistor, photo dioda dan receiver modul lainnya.

6.2.4 Light Dependent Resistor (LDR).

LDR merupakan sensor optik yang dapat mengkonversi besaran cahaya yang diterima menjadi nilai konduktansi, Jika LDR menerima cahaya maka konduktansi diantara kedua kaki akan meningkat dan menyebabkan nilai tahanannya atau resistansinya menurun. Apabila besar cahaya yang diterima oleh LDR maka nilai resistansinya rendah dan nilai konduktansinya meningkat. Penerapan LDR antara lain yaitu sebagai sensor lampu jalan, pada saat matahari suda redup maka cahaya yang diterima LDR sudah kecil sehingga konduktasinya menurun sehingga menyebabkan resistansi besar dan dapat menghidupkan ampu jalan secara otomatis.

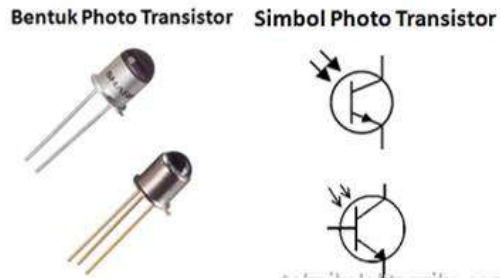


Gambar 6. 4. Bagian LDR
(Sumber : (Wijanarko et al. 2018)

6.2.5 Photo-Transistor

Photo Transistor merupakan komponen elektronika yang juga diigolongkan dalam kelompok transduser. Photo Transistor merupakan transistor yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik yang memiliki penguat internal. Integrasi penguat internal atau Gain mengakibatkan sensitivitas photo transistor terhadap cahaya jauh lebihbbaik dibanding dengan komponen pendeteksi lainnya seperti photodiode atau photo resistor. Penerimaan cahaya oleh photo transistor pada daerah basisnya akan menghasilkan arus listrik dan kemudian arus

tersebut dikuatkan sampai ratusan kali bahkan hingga ribuan kali.



Gambar 6. 5. Bentuk dan simbol Photo Transistor

(Sumber : (Bansal and Maiya 2020)

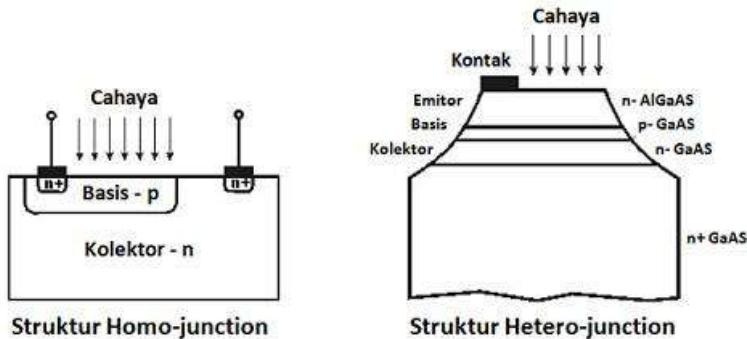
Prinsip kerja photo transistor hampir sama dengan transistor normal yaitu arus pada basis transistor dikendalikan oleh cahaya atau sinar inframerah yang diterima. Photo transistor pada umumnya memiliki 2 kaki yaitu emitordan kolektor dan basis terminalnya berbentuk lensa sebagai pendeteksi cahaya. Sehingga jika basis photo transistor menerima intensitas cahaya yang banyak maka arus yang mengalir ke emitor semakin besar juga, begitupula sebaliknya jika insensitas cahaya yang diterima basis photo transistor maka arus yang mengalir ke emitor akan kecil.

Struktur Photo Transistor yang dirancang khusus sebagai komponen yang dapat digunakan untuk mendeteksi cahaya, sehingga desaignnya teridiri dari wilayah basis dan kolektor yang dibuat lebih besar dibanding transistor normal. Material yang digunakan untuk membuat photo transistor pada awalnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti Silika, dan Germanium yang dibentuk sebagai Homo-junction.

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini photo transistor pada umumnya menggunakan bahan semikonduktor seperti Galium Arsenide yang masuk pada kelompok semikonduktor III-V yang membentuk Hetero-Junction atau Heterostructure yang berarti memiliki bahan pembeduk yang berbeda kedua sisi

persimpangan PN, sehingga memiliki efisiensi konversi yang lebih besar.

Struktur Photo Transistor



Gambar 6. 6. Struktur Photo Transistor

(Sumber : (Bansal and Maiya 2020))

Kelebihan Photo Transistor

- ✓ Arus listrik yang diterima lebih tinggi dibanding dengan photodiode.
- ✓ Lebih kecil, sederhana, lebih murah dan mudah diintegrasikan pada berbagai rangkaian elektronika.
- ✓ Respon sangat cepat dan menghasilkan output hampir mendekati instan
- ✓ Output yang dihasilkan berupa tegangan, sedangkan photo resistor tidak bisa.

Kekurangan Photo Transistor

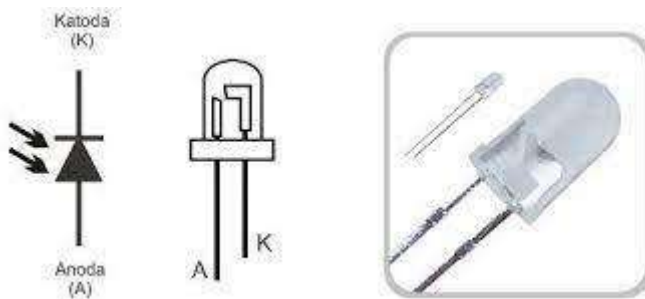
- Karena terbuat dari bahan silikon sehingga tidak dapat menahan tegangan lebih dari 1000 volt.
- Rentan terjadinya lonjakan listrik yang tiba tiba (electric sure).

- Elektron tidak dimungkinkan bergerak bebas seperti komponen lainnya.

6.2.6 Photodioda

Photodioda merupakan salah satu jenis dioda yang resistansinya dapat berubah-ubah, perubahan resistansi tersebut dipengaruhi oleh besaran cahaya yang diterima oleh photodioda. Apabila kondisinya gelap maka resistansinya sangat besar maka tidak ada arus yang mengalir, dan apabila cahaya yang diterima besar maka resistansi menjadi rendah dan arus yang mengalir akan bertambah besar.

Konstruksi photodioda terdiri 2 kaki yaitu anoda dan katoda, anoda ditandai sebagai kutub positif (+) dan katoda sebagai kutub negatif (-) dan output dari photodioda adalah arus listrik yang dapat berubah-ubah berdasarkan besarnya intensitas cahaya yang diterima, semakin besar intensitas cahaya yang diterima photodioda semakin besar arus yang dikeluarkan, sebaliknya semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima maka semakin kecil arus listrik yang dikeluarkan.

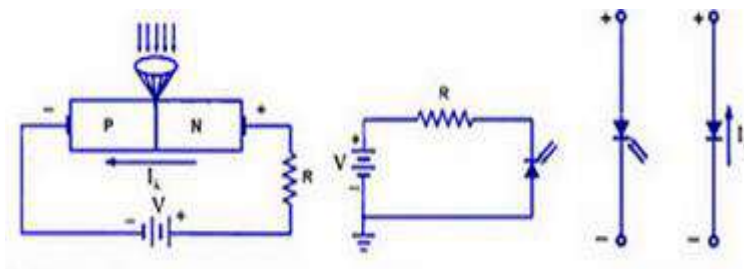


Gambar 6. 7. Bentuk dan Simbol Photo Dioda

(Sumber : (Setyaningsih and Prastiyanto 2017)

Photodioda dibuat dari bahan semikonduktor, pada umumnya terbuat dari silikon (Si) atau Galium Arsenide (GaAs). Indium antimonide (InSb), Indium Aarsenide (InAs), Lead Selenide (PbSe) dan Timah Sulfide (PBS). Bahan bahan tersebut

sensitivitas penyerapan cahaya sangat baik pada karakteristik dengan panjang gelombang, seperti Silicon 250 nm sampai 1100 nm, untuk GaAs mulai dari 2,0 μm sampai 800 nm.(Farida Iasha 2016).



Gambar 6. 8. Struktur Dioda

(Sumber : (Farida Iasha 2016)

Spesifikasi photodiode antara lain adalah fast respon time, high photo sensitivity, small junction capacitance dan angle of half intensity $\pm 25\%$. Photodiode pada umumnya digunakan untuk sistem pengamanan, High Speed Photo Detector dan camera.

Prinsip kerja Photodiode sebagai penyerap cahaya, menyebabkan terjadi pergeseran pton sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole pada kedua sisinya, apabila elektron menuju pada sumber (+) dan holenya menuju ke sumber (-).

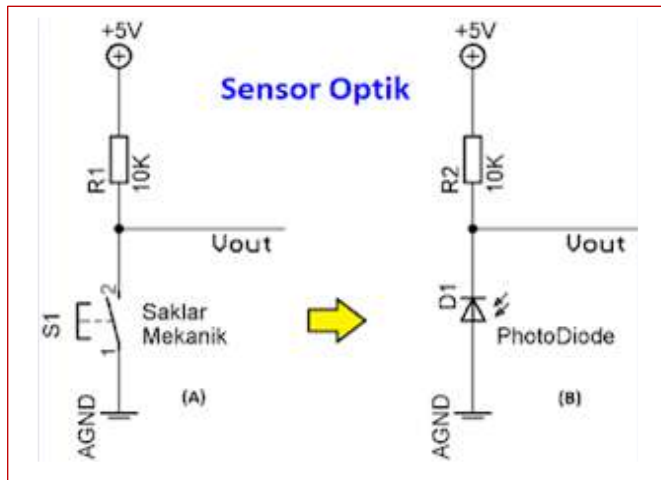
Karakateristik photodiode antara lain memiliki respon 100 kali lebih cepat dari phototransistor, dicover dengan plastik transparan yang berfungsi sebagi lensa yang dikeal dengn lens fensel dan *optical filter* dan menerima cahaya inframerah yang dipengaruhi oleh *active area* dan *respond time*.

6.3 Aplikasi Sensor Optik

Sensor optik merupakan salah satu bagian peralatan yang menjadi inputan dari sistem kendali otomatis yang dibangun dengan menggunakan komponen optikal yang difungsikan untuk

mendeteksi dan memberikan data suatu keadaan sekitar sensor melalui cahaya.

Sistem kerja dari sensor optik dijelaskan pada gambar rangkaian sensor optik pada gambar berikut.

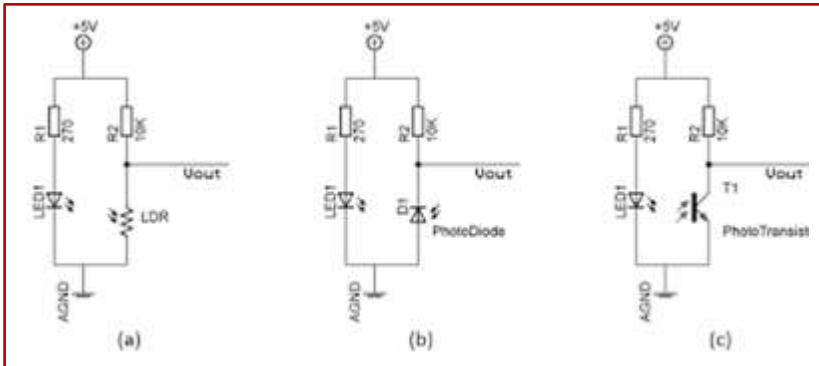


Gambar 6. 9. Skematik sistem kerja sensor optik

(Sumber : (Farida Iasha 2016))

Gambar 6.9 terlihat bahwa fungsi switch atau saklar mekanik S1 sebagai pemutus aliran tegangan pada rangkaian A. Apabila pada rangkaian A ini harapkan output tegangan 5 Volt maka harus menekan saklar mekanik (S1) dan jika tidak diharapkan output tegangan 0 volt, S1 tidak perlu ditekan. Untuk bekerja secara otomatis maka Saklar S1 digantikan dengan photodiode (D1) yang merupakan komponen optik, apabila photodiode (D1) menerima cahaya maka tegangan output 5 Volt akan keluar dan jika tidak menerima D1 tidak ada tegangan output yang dikeluarkan.

Pada sensor optik proses switching dilakukan oleh komponen yang menerima cahaya seperti; LDR, Photodiode atau Phototransistor. Pada gambar 6.10 berikut memperlihatkan contoh rangkaian sensor optik yang sederhana untuk 3 jenis komponen optik.

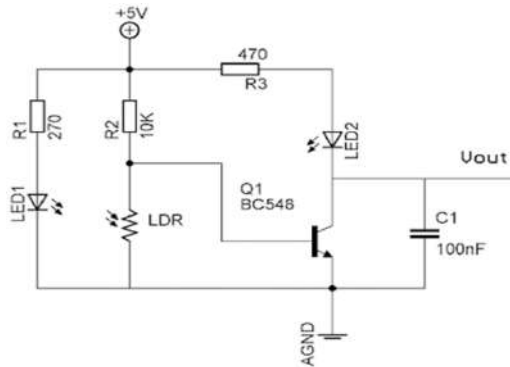


Gambar 6.10. Rangkaian sensor optik sederhana.

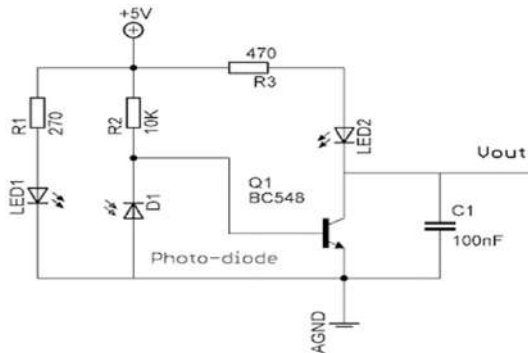
(Sumber : (Farida Iasha 2016)

Pada gambar rangkaian sensor optik yang sederhana di atas, pada dasarnya sama tetapi komponen optik yang digunakan berbeda. Sinyal tegangan output (V_{out}) yang dihasilkan dalam bentuk analog (linier). Pada saat komponen optik menerima cahaya maka tegangan outputnya (V_{out}) sama dengan nol maka terjadi logika low dan pada saat tidak menerima cahaya maka V_{out} sama dengan ± 5 Volt maka terjadi Logika Hight.

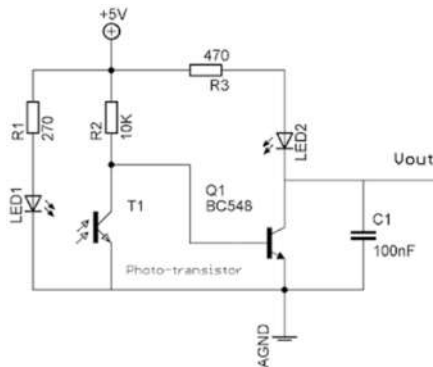
Pengembangan rangkaian sensor optik sederhana seperti menambahkan komponen lainnya seperti penambahan transistor yang berfungsi untuk membalik kondisi sinyal tegangan output (V_{out}) pada rangakain sensor optik seperti pada gambar 6.10. Pada saat komponen optik menerima cahaya maka tegangan outputnya (V_{out}) sama dengan ± 5 Volt maka terjadi logika hight dan pada saat tidak menerima cahaya maka V_{out} sama dengan nol maka terjadi Logika Low. Contoh pengembangan rangakaian sensor optik ditunjukkan pada gambar 6.11- 6.13:



Gambar 6. 11. Rangkaian sensor optik analog dengan LDR

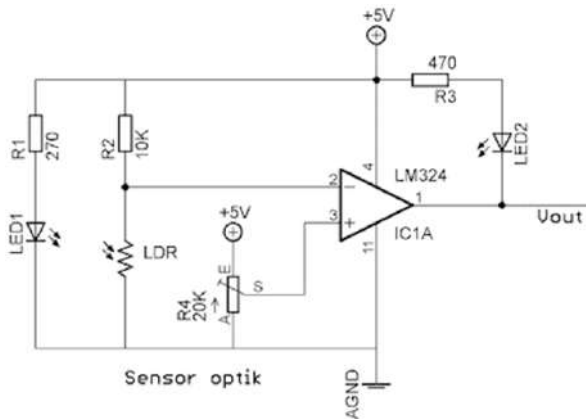


Gambar 6. 12. Rangkaian sensor optik analog dengan Photodiode

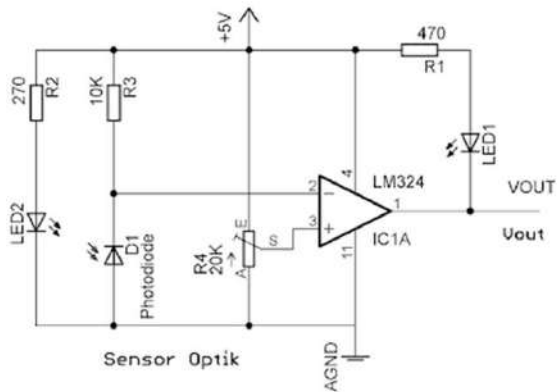


Gambar 6. 13. Rangkaian sensor optik analog dengan Phototransistor

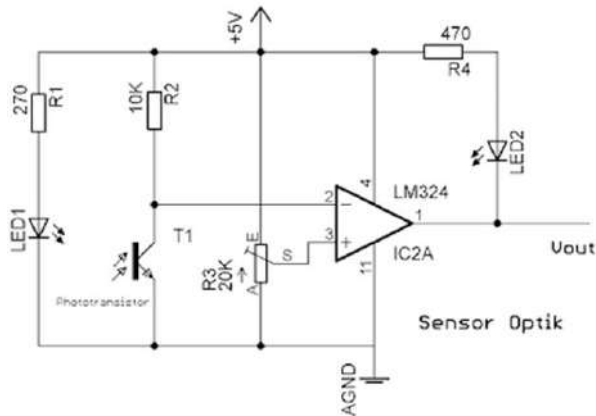
Sinyal tegangan output (V_{out}) pengembangan rangkaian sensor optik seperti pada gambar rangkaian 6.11-6.13 sama dengan V_{out} gambar rangkaian sederhana seperti pada gambar 6.10 yang sinyanya berupa V_{out} analog. Sinyal tegangan analog yang dikeluarkan oleh sensor optik digital seperti pada gambar rangkaian 6.10 – 6.13, dengan sistem elektronik masih perlu penambahan komponen inverting atau rangkaian pengkondisian sinyal analog atau (*analog signal conditioning*) yang bertujuan untuk menfilter dan menguatkan sinyal sebelum di masukkan pada pemrosesan sinyal menjadi data digital seperti pada mikrokontroler. Gambar rangkaian pengembangan dengan menggunakan inverting atau pengkondisian sinyal seperti pada gambar 6.14-6.16.



Gambar 6. 14. Rangkaian sensor optik digital LDR



Gambar 6. 15. Rangkaian sensor optik digital Photodiode



Gambar 6. 16. Rangkaian sensor optik digital Phototransistor

Gambar rangkaian sensor optik digital seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.14-6.16, sinyal tegangan outputnya (Vout) merupakan tegangan digital sehingga sinyal Vout tersebut dapat langsung di masukkan pada pemrosesan sinyal atau mikrokontroler.

Komponen yang digunakan untuk mengkondisikan sinyal keluaran menjadi sinyal digital adalah komponen penguat operasi (Op-Amp). Komponen Op-Amp ini juga berfungsi sebagai penguat dan konverter sinyal analog menjadi sinyal digital.

Table 6. 1. Memperlihatkan Perbedaan Sinyal Output Tegangan (Vout)

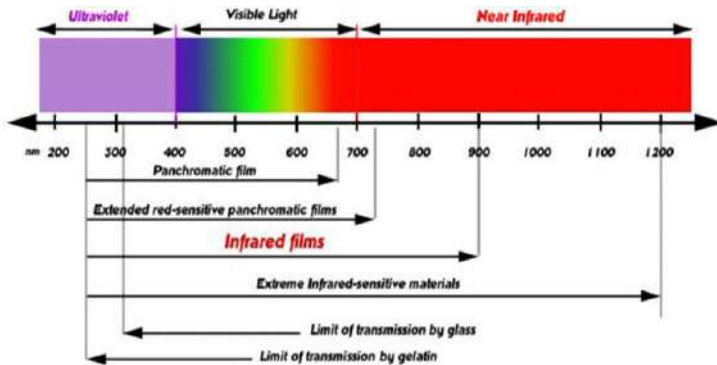
Komponen optik penerima cahaya	Vout	Kanal Op-Amp
Saat menerima	$\pm 5\text{ V}$	Inverting
Saat tidak Menerima	0 V	

Pada rangkaian sensor optik sesuai gambar 6.14, 6.15 dan 6.16 pada saat dua keadaan yaitu pada waktu menerima hamburan atau berkas cahaya dan pada waktu tidak menerima cahaya, dan sinyal tegangan output dilewatkan pada inverting (pembalik) melalui komponen OP-Amp.

6.4 Sensor Near Infrared (NIR).

Sensor NIR merupakan bagian dari sinar inframerah dan salah satu jenis sensor optik dan sensor gerak. Sensor NIR memanfaatkan sinar inframerah dan bekerja pada spektrum elektromagnetik pada ujung bawah, sehingga tidak terlihat oleh mata, karena sinar inframerah berada antara gelombang tampak dan gelombang mikro.

Near infrared mempunyai lokasi jangkauan serapan yang kecil sehingga lebih spesifik. Keuntungan menggunakan sinar near infrared karena kemampuan penetrasinya lebih jauh. Spektrum NIR beroperasi pada panjang gelombang berkisar antara 750-2500 nm. Near Infrared memiliki kemampuan jangkauan penetrasi lebih jauh dibanding Mid infrared. (Al-Dhaheri et al. 2020). NIR spectroscopy merupakan metode analisis dengan menggunakan sinar infra merah pada panjang gelombang 750-2500 nm, yang pada daerah tersebut umumnya terjadi vibrasi pada ikatan -CH, -OH, -SH dan -NH.(Ciurczak 2008).



Gambar 6. 17. Panjang gelombang optik sensor.

(Sumber : (Ciurczak 2008).

Dengan kemajuan teknologi di bidang mikroelektronika, NIR telah menjadi populer untuk memantau banyak parameter fisiologis disebabkan dapat memberikan pemantauan on-line yang sederhana, ekonomis, aman dan nyaman. Penggunaan Inframerah diberbagai bidang untuk tujuan komersial seperti

- Digunakan untuk perangkat penglihatan malam
- Dalam astronomi, untuk mendeteksi objek di alam semesta dengan teleskop dan detektor benda padat.
- Dalam kegiatan militer untuk pelacakan pesawat.
- Dalam bidang restorasi seni, untuk menganalisa lukisan dan menemukan lapisan lukisan yang tersembunyi
- Untuk mendeteksi nanopartikel dalam organisme hidup.

Sensor Inframerah (IR) juga digunakan untuk mendeteksi gas, mempelajari cuaca, pengujian minyak bumi, analisis air dan untuk pengobatan serta sebagai bagian sistem kontrol untuk akses keamanan.

6.4.1 Vibrational Spectroscopy

NIR Spektroskopi menggunakan radiasi cahaya - elektromagnetik - untuk menganalisis bahan dengan menggambarkan transfer energi antara cahaya dan materi. Energi foton tunggal - partikel cahaya - didefinisikan pada persamaan berikut:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot c \cdot \tilde{\nu} \dots\dots (1)$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \tilde{\nu}[cm^{-1}] = \frac{10^7}{\lambda[nm]} \dots\dots (2)$$

Dimana; h: Konstanta Plank dalam m^2kg/s

V: Frekuensi Cahaya dalam S^{-1}

c; Kecepatan Cahaya dalam m/s

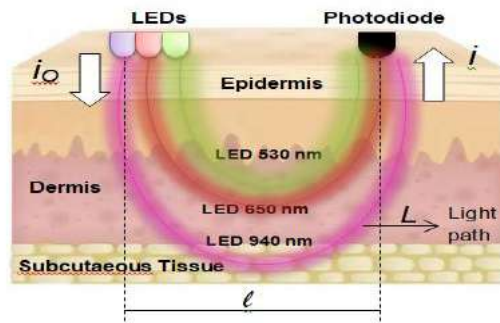
λ : Panjang Gelombang Cahaya dalam m

$\tilde{\nu}$: Bilangan gelombang cahaya dalam m^{-1}

Pada Umumnya, bilangan gelombang dalam satuan cm^{-1} . Sehingga untuk menyamakan satuan panjang gelombang dalam bilangan gelombang, maka dari panjang gelombang dalam nm dikalikan dengan 10^7 . Dimana persamaan. 1, menunjukkan bahwa semakin pendek panjang gelombang, semakin tinggi bilangan gelombang dan semakin tinggi energi foton. (Pu et al. 2020).

Sensor NIR dapat digunakan untuk mendeteksi saturasi udara atau oksigen dalam darah pada jaringan tubuh manusia, dapat mendeteksi kadar glukosa darah total dan berbagai kegunaan lain pada instrument biomedis atau peralatan kesehatan lainnya. Melalui perkembangan ilmu fisika modern untuk pemnafaatan sinsr optik. Cahaya yang merambat di jaringan tubuh, bersifat seperti foton. Setiap foton bergerak sesuai dengan sifat optis jaringan tubuh. Cahaya yang dipancarkan oleh IR LED berintekasi dengan jaringan tubuh dilokasi sensor ditempatkan, cahaya akan dilemahkan oleh hamburan serta penyerapan cahaya oleh jaringan tubuh.

Pengukuran absorbansi cahaya hukum Beer – Lambert yang memiliki peranan utama karena absorbansi cahaya yang melalui larutan apa pun sebanding dengan konsentrasi larutan dan panjang jalur yang ditempuh oleh sinar cahaya (Narkhede, Dhalwar, and Karthikeyan 2016). Panjang gelombang 940 nm pada redaman sinyal optik oleh unsur unsur lain dari darah seperti air, trombosit, sel darah merah, dan lainnya sangat rendah, sehingga kedalaman penetrasi yang diinginkan dapat dicapai dan konsentrasi glukosa dapat diprediksi. Ilustrasi hamburan pancaran sinar Inframerah dan beberapa LED pada jaringan tubuh seperti pada gambar berikut:



Gambar 6. 18. Pancaran reflektansi dalam beberapa LED IR.

Cahaya sensor NIR dapat menembus lapisan kulit, namun LED IR 530- 660 nm hanya dapat menembus sampai lapisan dermis, dan LED IR 940 nm dapat menembus sampai lapisan subcutaneous (Rachim and Chung 2019). Modifikasi Hukum Beer Lambert pada umumnya digunakan untuk menganalisis data NIR spectroscopy untuk mengetahui perubahan konsentrasi kromofor dalam jaringan. meningkatnya panjang jalur foton karena beberapa hamburan cahaya dalam jaringan yang merupakan parameter factor panjang jalur diferensial (PDF). Modifikasi hukum beer- lambert pada redaman optik dengan hamburan yang sangat tinggi dengan persamaan berikut (Yadav et al. 2014).

$$I = I_0 e^{-\mu_a + PDF \times d} + g \dots\dots\dots (3)$$

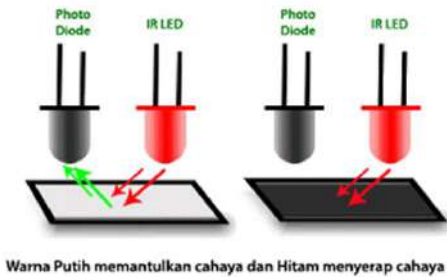
$$OD = -\text{Log} \frac{I}{I_0} = \mu_a \times L + G \dots\dots (4)$$

Dimana I adalah intensitas cahaya yang terdeteksi, I_0 Intensitas cahaya yang datang, OD adalah kerapatan optik (optical density), d adalah jarak sumber- detector, μ_a merupakan koefisien kerapatan optik. Log merupakan algoritma natural yang berbasis e.g, dan G merupakan factor yang ideal untuk menjelaskan pengukuran geometri. Rata rata total panjang lintasan foton yang terdeteksi adalah $L = PDF \times d$. diman L rata rata pada kisaran koefisien penyerapan pada $0 - \mu_a$, sehingga;

$$\tilde{L}(\mu_a) = \frac{1}{\mu_a} \int_0^{\mu_a} L. d. \mu'_a \dots\dots\dots (5)$$

6.4.2 Komponen Sensor NIR

Sensor Near infrared (NIR) merupakan teknik analisis yang memanfaatkan sinar infrared yang memiliki panjang gelombang 750 -2500 nm. NIR salah satu jenis sensor Optik yang terdiri LED IR sebagai transmitter atau pemancar cahaya infra merah dan Photodiode sebagai receiver atau penerima hamburan dari pantulan cahaya yang terefleksikan. Photodiode pada umumnya digunakan karena memiliki keunggulan yang tidak rentan terhadap noise karena photodiode hanya menerima sinar infrared saja.



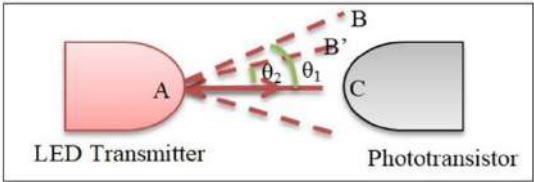
Gambar 6. 19. Ilustrasi sensor optik LED IR dan photodioda

Penjabaran perambatan cahaya pada suatu medium yang sama diuraikan oleh hukum Beer Lambert, yaitu pada saat radiasi berinteraksi dengan jaringan biologis, cahaya terlemahkan oleh penyerapan serta hamburan, sehingga atenuasi cahaya dapat dijabarkan dengan absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu dalam larutan homogen. Dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut;

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\varepsilon(\lambda)\beta L} \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan 6, I_x merupakan intensitas cahaya yang terpantulkan, I_0 adalah insiden intensitas cahaya, ε absorpsi media dan merupakan koefisien media penyerapan, β merupakan konsentrasi dari penyerapan dan L adalah panjang jalur cahaya. Cahaya yang dipantulkan dan tegangan input (V_{in}) dan tegangan output (V_{out}) disubtitusikan sebagai pengganti intensitas cahaya I_x dan insiden cahaya I_0 yang dipantulkan, dijabarkan dengan persamaan linear (2) sebagai berikut.

$$\frac{V_{in}-V_{out}}{V_{in}} = 10^{-\varepsilon\beta L} \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 6. 20. Sudut pantul cahaya LED IR

Gambar 6.20 menjelaskan indeks bias (η_2) dalam mengukur kadar kolesterol dan glukosa dengan menghubungkan titik A, B dan C. Konsentrasi kolesterol dan glukosa darah sangat erat hubungannya dengan sudut reflektansi cahaya yang berkaitan langsung dengan intensitas cahaya I_x dan tegangan output (V_{out}) yang dijabarkan pada persamaan (7). Pada gambar jika terjadi penurunan sudut pantul (θ_2) mengindikasikan meningkatnya kadar kolesterol dalam darah, dimana garis AB

merapat membentuk garis baru AB' . Secara matematis dengan menggunakan hukum Snell indeks pembiasan (η_2) dapat dihitung pada persamaan berikut:

$$\eta_2 = \frac{\eta_1(\sin \theta_1)}{\sin \theta_2} \dots\dots\dots (8)$$

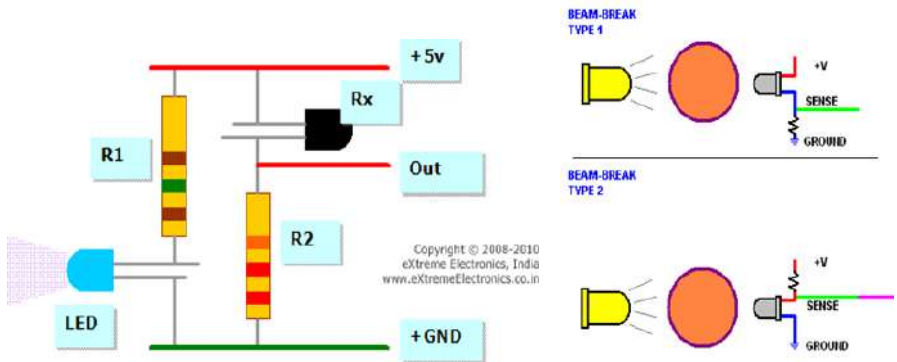
Indeks bias cairan kolesterol diwakili η_2 , dan η_1 mewakili indeks bias air dengan nilai 1,333. Sudut bias air diwakili θ_1 dan θ_2 sudut bias kolesterol atau glukosa darah. Sudut pantul (θ_2) mengalami penurunan pada saat kadar kolesterol atau glukosa darah meningkat sehingga mengakibatkan indeks pantul (η_2) mengalami penurunan dan tegangan output (V_{out}) mengalami peningkatan karena banyak foton yang menyentuh photodiode. Akibat penurunan pada sudut pantul (θ_2), ikut menurunkan radius BC pada cahaya LED, saat sinar cahaya melengkung ke AC menyebabkan kadar kolesterol atau glukosa akan meningkat berdasarkan hukum Snell.

$$V_{out} = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_x \cdot I_{SC}}{I_0} \right) = \frac{nKT}{q} \left[\ln \left(\frac{I_{SC}}{I_0} \right) + \ln . I_x \right]$$

$$V_{out} = V + \frac{nKT}{q} \ln I_x \dots\dots\dots (9)$$

Dimana: (I_0) Saturasi arus balik, (I_{SC}) Arus hubung singkat, (V) Tegangan awal, nKT/q = Nilai constant pada saat temperature T , sementara nilai $K = 1,380 \times 10^{-23}$ dan $q = 1,602 \times 10^{-19}$

Menganalisis perpindahan energi cahaya pada material yang di bawah setiap foton digunakan radiasi cahaya-elektromagnetik oleh spektroskopi yang dijabarkan dengan persamaan (1), dimana h merupakan Konstanta Planck ($6,620 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$), C adalah Kecepatan Cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), dan λ sebagai panjang gelombang cahaya (940 nm). Sehingga banyaknya energi yang dibawa oleh foton bergantung pada panjang gelombang dimana NIR berada pada 400 – 1400 nm, semakin pendek panjang gelombang, semakin tinggi bilangan gelombang dan semakin tinggi energi foton.



Gambar 6. 21. Rangkaian sensor NIR dengan LED IR dan Photodiode

LED pada rangkaian sensor optik seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 digunakan sebagai pemancar cahaya, untuk mencegah kerusakan pada LED maka dipasang resistor R₁ secara seri, nilai resistor dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_f}{I_f} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana R₁ adalah nilai resistansi dalam Ohm, V_{cc} adalah sumber tegangan DC dalam Volt, V_f adalah tegangan jatuh melalui LED dalam Volt dan I_f adalah arus maju pada LED dalam ampere. Photodiode pada rangkaian sensor digunakan sebagai penerima cahaya yang terpantulkan, untuk membatasi arus dan mencegah kerusakan pada photodiode maka dipasang resistor R₂ untuk menghitung nilai resistor yang dapat digunakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{CE}}{I_C} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana R_2 adalah resistansi kolektor terpasang seri dalam satuan ohm, $V_{CE}(Sat)$ adalah tegangan jatuh pada kolektor dan emitter photodiode dalam satuan volt dan I_C adalah arus pada kolektor dalam satuan ampere

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Dhaheri, Mustafa Ayes, Nasr Eddine Mekkakia-Maaza, Hassan Mouhadjer, and Abdelghani Lakhdari. 2020. "Noninvasive Blood Glucose Monitoring System Based on Near-Infrared Method." *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 10 (2): 1736–46. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i2.pp1736>
- Ali, Haider, Faycal Bensaali, and Fadi Jaber. 2017. "Novel Approach to Non-Invasive Blood Glucose Monitoring Based on Transmittance and Refraction of Visible Laser Light." *IEEE Access* 5 (c): 9163–74. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2707384>.
- Bansal, Malti, and Raaghav Raj Maiya. 2020. "Phototransistor: The Story so Far." *Journal of Electronics and Informatics* 2 (4): 202
- Ciurczak, EW. 2008. "Principles of NIR Spectroscopy. In: Handbook of Near-Infrared Analysis, 3rd Edn (Burns DA, Ciurczak EW, Eds). Boca Raton, FL: CRC Press," 8–9.
- Farida Iasha. 2016. "RANCANG BANGUN SENSOR DETAK JANTUNG MANUSIA PADA TREADMILL DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR PHOTODIODA." Surabaya.
- Kurniawan, Hadi. 2019. "Potensi Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) Sebagai Pendeteksi Bakteri (Studi Awal Detektor Makanan Halal)." *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 3 (1): 1–10.
- Md Meganur Rhaman. 2018. "Recent Advances of Light Emitting Diode for Solid State Lighting Proceedings of 10th Global Engineering , Science and Technology Conference Recent Advances of Light Emitting Diode for Solid State Lighting Md Meganur Rhaman Solid State Lighting (SSL) Bas." *Department of Electrical and Electronic Engineering, Ahsanullah University of Science and Technology, Dhaka*, no. January.

- Narkhede, Parag, Suraj Dhalwar, and B. Karthikeyan. 2016. "NIR Based Non-Invasive Blood Glucose Measurement." *Indian Journal of Science and Technology* 9 (41): 1–9. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i41/98996>.
- Pu, Yuan Yuan, Colm O'Donnell, John T. Tobin, and Norah O'Shea. 2020. "Review of Near-Infrared Spectroscopy as a Process Analytical Technology for Real-Time Product Monitoring in Dairy Processing." *International Dairy Journal* 103: 104623. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104623>.
- Rachim, Vega Pradana, and Wan Young Chung. 2019. "Wearable-Band Type Visible-near Infrared Optical Biosensor for Non-Invasive Blood Glucose Monitoring." *Sensors and Actuators, B: Chemical* 286 (October 2018): 173–80. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.121>.
- Setyaningsih, Erni, and Dhidik Prastiyanto. 2017. "Penggunaan Sensor Photodiode Sebagai Sistem Deteksi Api Pada Wahana Terbang Vertical Take-Off Landing (VTOL)." *Jurnal Teknik Elektro* 9 (2).
- Umar, Usman, Syafruddin Syarif, and Ingrid Nurtanio. 2021. "Applied a Non-Invasive Method to Measure Cholesterol and Glucose Levels."
- Umar, Usman, Syafruddin Syarif, Ingrid Nurtanio, and Indrabayu. 2020. "Development Reflective Optical Sensor for Blood Cholesterol Measurement Using LED Infrared 940 Nm." *International Journal of Engineering Research and Technology* 13 (12): 4899–4907.
- Usman Umar, Hasmah, Risnawaty Alyah, Usman Umar. 2021. "DESAIN ALAT UKUR KADAR ASAM URAT NON- INVASIVE DENGAN SENSOR NEAR INFRARED." *Lontara (Journal Of Health Science and Technology* 2 (2): 69–81.
- Wahyu, Gayuh, and Rusdhianto Effendi. 2022. "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Luas Permukaan Kulit Menggunakan Konveyor." *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 11 (1): F1–7*.

- Wijanarko, Denny, Ahmad Munawir, Program Studi, Teknik Komputer, Jurusan Teknologi Informasi, and Politeknik Negeri Jember. 2018. "SENSOR CAHAYA DAN APLIKASI ANDROID BERBASIS ARDUINO UNO." *Jurnal Informatika Polinema* 4: 298.
- Yadav, Jyoti, Asha Rani, Vijander Singh, and Bhaskar Mohan Murari. 2014. "Near-Infrared LED Based Non-Invasive Blood Glucose Sensor." *2014 International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2014*, 591–94.

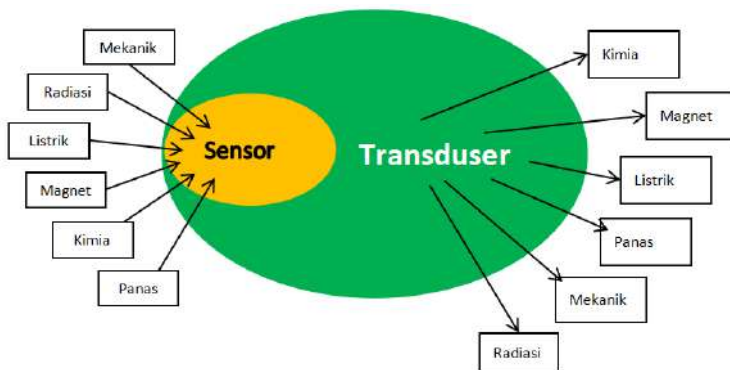
BAB 7

APLIKASI TRANSDUSER YANG TERKAIT DENGAN SISTEM ELEKTRONIK DALAM BIDANG INDUSTRI

Oleh La Ode Hasnuddin S. Sagala

7.1 Sensor dan Transduser

Transduser merupakan piranti yang dapat mengubah suatu energi ke dalam bentuk energi yang lain. Misalnya dari energi mekanik menjadi energi kimia atau dari energi listrik menjadi energi panas. Sedangkan sensor merupakan piranti yang mengubah suatu energi (misal : energi panas, energi kimia, energi suara, dll) menjadi tegangan atau arus listrik. Sehingga berdasarkan definisi dapat disimpulkan bahwa sensor merupakan bagian transduser. Gambar 7.1 menunjukkan hubungan antara sensor dan transduser.



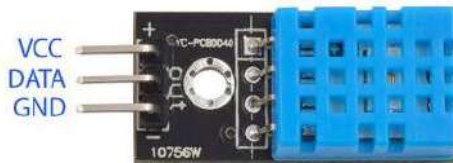
Gambar 7. 1. Hubungan transduser dan sensor

7.2 Transduser di Industri

Dalam dunia industri sering dijumpai berbagai macam transduser serta sensor yang digunakan dalam proses produksi maupun yang lainnya dan piranti tersebut sangat mempengaruhi dalam perkembangan industri. Transduser serta sensor merupakan piranti yang mempunyai peranan penting dalam sebuah sistem pengaturan otomatis. Ketepatan dan kesesuaian dalam memilih sebuah transduser akan sangat menentukan kinerja dari sistem pengaturan secara otomatis. Berikut ini beberapa transduser serta sensor yang diaplikasikan fungsinya di industri

7.2.1 Aplikasi sensor DHT11 sebagai piranti monitoring suhu dan kelembapan di industri pengering gabah.

Kegiatan pascapanen padi secara lengkap meliputi kegiatan pemanenan, perontokkan, pembersihan, pengeringan, penggilingan sampai penyimpanan. Berdasarkan enam proses pascapanen tersebut, proses pengeringan merupakan proses penentu kualitas gabah yang akan dipasarkan. Sehingga piranti yang dapat memonitoring suhu dan kelembaban padi saat proses pengeringan sangat dibutuhkan. Salah satu piranti yang dapat digunakan adalah sensor DHT11. Gambar 2 menunjukkan bentuk dari sensor.



Gambar 7. 2. Sensor DHT11

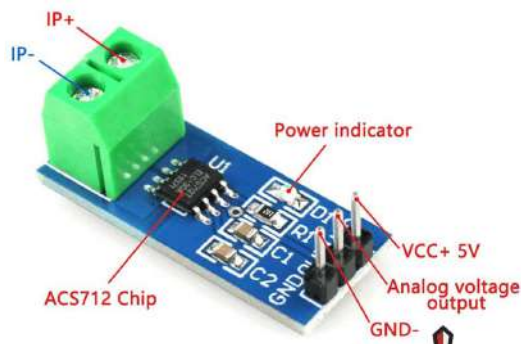
Sensor DHT11 merupakan sensor suhu yang mengubah besaran fisis menjadi tegangan (Sawita, 2017) (Kumara, 2010). Sensor ini sangat cocok digunakan untuk mengukur suhu

lingkungan karena mempunyai akurasi cukup baik berdasarkan hasil pengukuran yang hasilnya tidak memiliki perbedaan besar jika dibandingkan dengan termometer analog (Nudian, 2019) (Wardhani, 2021).

Cara kerja mesin pengering gabah diawali dengan proses inisial perangkat. Setelah itu dilanjutkan dengan pengaktifan sensor DHT11 agar bisa membaca nilai suhu dan kelembaban. Pada saat proses pembacaan oleh sensor, di sisi lain blower akan menyala/ ON. Ketika blower di ON-kan maka gabah yang dalam kondisi basah akan melakukan sirkulasi ke kondisi kering. Jika gabah dalam kendaraan telah kering dan sesuai standar maka blower akan mati serta alat telah selesai dijalankan.

7.2.2 Aplikasi Sensor Arus ACS712 sebagai sistem proteksi pada mesin penghitung kertas otomatis berbasis IoT

Alat penghitung kertas merupakan alat yang dibuat dengan fungsi mampu melakukan perhitungan dan penyortiran kertas secara otomatis melalui smartphone. Namun saat proses sorting, terkadang ditemukan kertas yang kusut atau tersangkut saat proses penarikan oleh roller. Akibatnya dapat mengganggu sistem perhitungan dan penyortiran kertas. Oleh karena itu, dibutuhkan sensor arus ACS712 sebagai alat proteksi pada mesin penghitung kertas.



Gambar 7.3. Sensor ACS712

Sensor ACS712 merupakan sensor yang memanfaatkan medan listrik dan kemudian diproses oleh IC ACS712 untuk menghasilkan keluaran berupa tegangan proporsional. Sensor ini digunakan untuk memonitoring nilai arus yang mengalir pada motor DC penggerak roller (Chen, 2010). Ketika terdapat kertas yang tersangkut, maka daya yang mengalir pada motor DC akan meningkat secara signifikan. Saat sensor arus ACS712 mendeteksi arus berlebih, maka sistem keseluruhan dari alat akan berhenti/ OFF.

7.2.3 Aplikasi sensor *Waterflow* pada proses pencampuran cairan dalam industri

Dalam sistem proses produksi terdapat beberapa tahap yang dilakukan sampai menghasilkan produk akhir, salah satunya adalah proses pencampuran. Proses pencampuran merupakan suatu proses yang memiliki fungsi untuk menggabungkan beberapa bahan menjadi satu dan menghasilkan keluaran yang diinginkan. Proses ini adalah proses yang perlu diperhatikan karena dapat menentukan kualitas suatu produk berdaya jual besar. Oleh karena itu perlu adanya piranti yang dapat memonitoring proses pencampuran agar sesuai dengan proporsi yang diinginkan (Harnby, 2001). Salah satu piranti yang dapat digunakan dalam sensor *Waterflow*.



Gambar 7. 4. Sensor waterflow

Sensor *Waterflow* merupakan sensor yang dapat digunakan sebagai pembaca suatu aliran air/ cairan pada suatu tempat. Prinsip kerja dari sensor ini adalah dengan membaca kecepatan putaran rotor yang diakibatkan oleh aliran air. Sensor ini memiliki cara kerja yaitu dengan mengukur aliran air berdasarkan perhitungan putaran dari sebuah kincir yang ada didalamnya. Dengan berputarnya kincir secara otomatis maka akan menghasilkan magnet yang sesuai dengan fenomena *Hall Effect*.

Fenomena *Hall Effect* disebabkan karena adanya efek medan magnetik terhadap partikel bermuatan yang bergerak. Jika pergerakkan aliran semakin cepat maka putaran rotor akan semakin cepat juga. Sehingga angka akan terbaca pada sensor. Angka yang dihasilkan akan menjadi sinyal output yang akan digunakan untuk menghitung/ mengetahui debit dan volume air yang lewat dari piranti ini (Zarkasi, 2015).

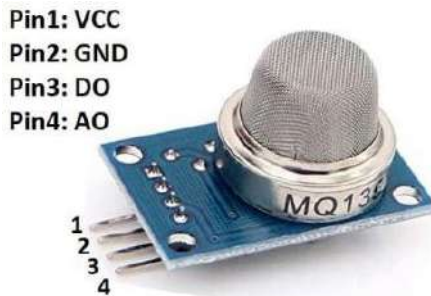
7.2.4 Aplikasi sensor MQ135, Motor DC, dan DHT11 sebagai transduser monitoring pengendalian amonia dan pembersihan kadang otomatis pada industri peternakan ayam

Industri peternakan ayam pedaging merupakan salah satu industri peternakan yang sangat menguntungkan. Hal ini dikarenakan oleh konversi pakan yang rendah, masa pertumbuhan ayam yang cepat sehingga hasil yang diperoleh dari komoditas usaha ini sangat menggiurkan (Soh, 2017). Meskipun industri ini sangat menjanjikan, terkadang masalah kebersihan kandang sangat mempengaruhi kondisi kesehatan ayam dan lingkungan sekitar kandang. Permasalahan yang sering muncul adalah pencemaran yang ditimbulkan oleh kotoran ayam dan bau amonia (NH₃) (Desandy, 2020).

Oleh sebab itu, sensor MQ135 dapat digunakan sebagai piranti yang dapat mengetahui kadar gas amonia, sensor DHT11 yang dapat digunakan untuk memonitoring kondisi suhu dan

kelembaban kandang sebelum serta sesudah pembersihan kadang dan Motor DC dapat digunakan untuk menggerakkan kipas yang berfungsi mengeluarkan gas amonia yang berlebih didalam kandang.

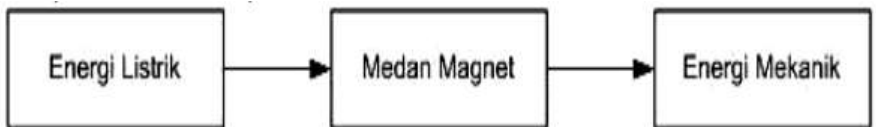
Sensor MQ135 merupakan piranti yang dapat mendeteksi senyawa/ gas-gas berbahaya yang dapat mengganggu pernapasan manusia dan kualitas udara sekitar. Sensor ini memberikan hasil deteksi berupa perubahan pada nilai resistensi analog pada pin outputnya. Terdapat 4 kaki/pin yang dimiliki oleh sensor MQ135 yaitu :



Gambar 7. 5. Sensor MQ135

Berdasarkan gambar 7.5, Pin1 merupakan pin VCC yang dapat dihubungkan dengan tegangan 2,5-5V. Pin2 merupakan pin GND yang terhubung dengan GND mikrokontroller. Pin3 merupakan digital output pin dan Pin4 merupakan analog output pin.

Motor DC merupakan transduser yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Proses konversi energi pada motor DC seperti pada gambar 7.6.



Gambar 7. 6. Motor DC dan proses konversi

DAFTAR PUSTAKA

- B. D. S. Desandy Hadina Muhtadin¹, Agus Darwanto ¹, "SISTEM PEMBERSIH KANDANG AYAM OTOMATIS BERBASIS IOT," vol. 16, 2020.
- Harnby N. Mixing in the process industries. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2001.
- I. K. A. S. Sawita, I. W. Supardi, and I. G. A. Putra Adnyana, "Alat Monitoring Suhu Melalui Aplikasi Android Menggunakan Sensor LM35 dan Modul SIM800L Berbasis Mikrokontroler ATmega16," Buletin Fisika, vol. 18, no. 2, p. 58, 2017, doi: 10.24843/bf.2017.v18.i02.p03
- I. N. S. Kumara, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban Dan Ketersediaannya Di Indonesia," Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, vol. 9, no. 1, 2010.
- M. Wardhani, S. Hadi, and J. Budiarto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara Berbasis Wireless Sensor Network," Jurnal Teknologi Terpadu, vol. 9, no. 2, pp. 115–125, 2021.
- L. Li, Y. Chen, huaping Zhou, hongxu Ma, and J. Liu, "The application of hall sensors ACS712 in the protection circuit of controller for humanoid robots," in 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010), 2010, vol. 12, pp. V12-101-V12-103.doi: 10.1109/ICCASM.2010.5622149.
- W.Nudian, M. Dede, M. A. Widiawaty, Y. R. Ramadhan, and Y. Purnama, "Pemanfaatan Sensor Mikro DHT11-Arduino untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara," Seminar Nasional: Pertemuan Ilmiah Tahunan-Ilmu Lingkungan 2019., pp. 1–13, 2020, doi: 10.31219/osf.io/6skfw.

- Zarkasi, Ahmad, "Pengukuran Aliran dalam Dunia Industri", Universitas Brawijaya, 2015.
- Z. H. C. Soh, M. H. Ismail, F. H. Otthaman, M. K. Safie, M. A. A. Zukri, and S. A. C. Abdullah, "Development of automatic chicken feeder using Arduino Uno," in 2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE), 2017, pp. 120–124. doi: 10.1109/ICEESE.2017.8298402.

BAB 8

BIOSENSOR

Oleh Zainal Abidin

8.1 Pendahuluan

Biosensor didefinisikan sebagai suatu perangkat sensor yang menggabungkan senyawa biologi dengan suatu transduser. Sistem kerjanya, senyawa aktif biologis akan berinteraksi dengan molekul yang akan dideteksi yang disebut molekul sasaran. Hasil interaksi yang berupa besaran fisik, seperti panas, arus listrik, potensial listrik atau lainnya akan dimonitor oleh transduser. Besaran tersebut kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil yang memiliki arti fisis.

Pada awalnya biosensor dibuat dengan sensor yang menggunakan transduser elektrokimia yaitu elektroda enzim untuk menentukan kadar glukosa dengan metode amperometri. Dalam perkembangannya biosensor memiliki tiga generasi yaitu generasi yakni : generasi pertama, biosensor berbasis oksigen, generasi kedua: biosensor menjadi lebih spesifik yang melibatkan “mediator” di antara reaksi dan transduser, dan terakhir generasi ketiga : biosensor berbasis enzyme coupling. [1]

Biosensor adalah perangkat analitik yang menggabungkan bahan biologis, bahan turunan biologis, atau biomimetik sebagai molekul pengenalan, yang terkait erat atau terintegrasi dalam transduser fisikokimia atau sistem mikro transduksi. Tujuan umumnya adalah untuk menghasilkan sinyal elektronik digital yang sebanding dengan konsentrasi analit atau kelompok analit tertentu. Sinyal ini dapat dihasilkan dari perubahan konsentrasi

proton, pengambilan atau pelepasan gas seperti oksigen dan amonia, emisi cahaya, pemantulan atau penyerapan, emisi panas, atau mekanisme lain, yang disebabkan oleh aksi molekul penginderaan. Sinyal ini kemudian dapat diubah oleh transduser menjadi respon yang terukur. Baik sinyal biologis maupun sinyal listrik dapat dimanipulasi lebih lanjut dengan amplifikasi atau pemrosesan. Meskipun pada prinsipnya sinyalnya kontinu, perangkat dapat dikonfigurasi untuk menghasilkan pengukuran tunggal guna memenuhi kebutuhan pasar tertentu.[2]

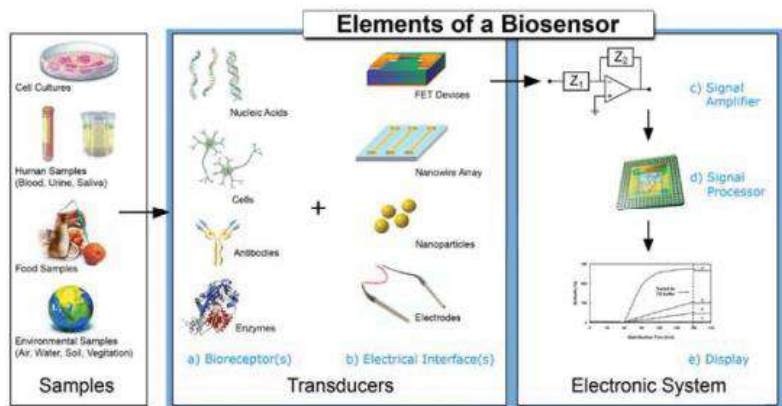
Biosensor atau [sensor](#) hayati adalah perangkat analisis yang menggabungkan komponen hayati dengan pendeteksi [fisikokimia](#) untuk mendeteksi zat kimia tertentu, sehingga menghasilkan luaran yang terukur. Secara garis besar, biosensor terdiri atas elemen biologis yang sensitif, [transduser](#), dan alat pembaca biosensor. Elemen biologis yang sensitif, seperti [jaringan](#), [mikroorganisme](#), [organel](#), [reseptor sel](#), [enzim](#), [antibodi](#), [asam nukleat](#), dan sebagainya, adalah materi biologis atau komponen [biomimetika](#) yang berinteraksi dengan, mengikat, atau mengenali analit (komponen) yang diteliti. Elemen sensitif tersebut juga bisa dibuat dengan [rekayasa biologis](#). Transduser bekerja secara fisikokimia ([optik](#), [piezoelektrik](#), [elektrokimia](#), elektrokemiluminesensi, dan sebagainya), yang berfungsi mengubah satu bentuk sinyal (energi) menjadi bentuk lainnya sebagai hasil interaksi antara analit dengan elemen biologis sehingga hasil tersebut bisa diukur dengan mudah. Sementara alat pembaca biosensor terhubung dengan [elektronika](#) terkait atau pemroses sinyal yang bertanggung jawab untuk menampilkan hasil yang mudah dibaca. [3]

1. Elektrokimia

Elektrokimia-Biosensor merupakan kajian ilmiah yang mempelajari proses biologi dan reaksi kimia yang terjadi antara perubahan zat dan arus listrik yang berlangsung dalam sel elektrokimia, dimana perpindahan

elektron terjadi antara elektroda dan elektrolit di dalam suatu larutan.

Sebuah biosensor secara umum didefinisikan sebagai perangkat analisis yang mengubah respon biologis menjadi sinyal yang bisa diukur dan diproses. Secara umum, biosensor bersifat spesifik pada senyawa yang akan dianalisis. Biosensor dapat diterapkan untuk berbagai macam sampel termasuk cairan tubuh, sampel makanan, kultur sel seperti darah dan digunakan untuk menganalisis sampel lingkungan seperti air, tanah dan vegetasi.



Gambar 8. 1. Elemen dari biosensor

Elemen dan skema komponen dari biosensor pada gambar 8.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

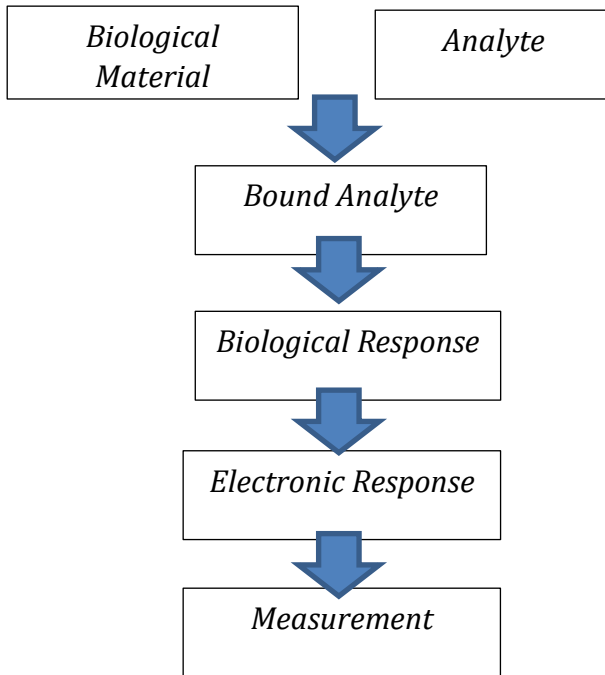
- Bioreceptor** berfungsi untuk mengenali dan mengikat analit zat uji yang akan diukur dan dianalisis.
- Electrical Interface**, dimana peristiwa perubahan zat biologis tertentu berubah menjadi sinyal dan arus listrik.
- Signal Amplifier** (Elemen transduser) sinyal listrik yang diterima diubah menjadi sinyal elektronik dan diperkuat oleh rangkaian detektor menggunakan referensi yang sesuai.

- d. **Signal Processor**, berupa perangkat komputer ataupun mikrokontroler yang bertugas untuk mengkonversi data sinyal diterima ke dalam bentuk parameter tertentu serta menjelaskan proses yang sedang dianalisis.[4]

8.2 Prinsip Biosensor

Material biologis yang diinginkan (enzim spesifik) didesain dengan metode konvensional (penjebakan fisik atau membran, pengikatan non-kovalen atau kovalen). Bahan biologis yang tidak dapat bergerak ini bersentuhan erat dengan transduser. Analit berikatan dengan bahan biologis membentuk analit terikat yang selanjutnya menghasilkan respon elektronik yang dapat diukur. Dalam beberapa kasus, analit diubah menjadi produk yang mungkin terkait dengan pelepasan panas, gas (oksigen), elektron, atau ion hidrogen. Transdusernya bisa mengubah perubahan terkait produk menjadi sinyal listrik yang dapat diperkuat dan diukur.

Proses desain pengukuran biosensor tersebut dapat digambarkan pada gambar 8.2 berikut :



Gambar 8. 2. Diagram alir pengukuran biosensor

Sinyal listrik dari transduser seringkali rendah dan bertumpukan pada garis dasar yang relatif tinggi dan noise (berisik) yakni mengandung komponen sinyal frekuensi tinggi yang tampaknya bersifat acak, karena interferensi listrik atau dihasilkan dalam komponen elektronik transduser. Pemrosesan sinyal biasanya melibatkan pengurangan sinyal dasar 'referensi', yang berasal dari transduser serupa tanpa membran biokatalis, dari sinyal sampel, memperkuat perbedaan sinyal yang dihasilkan dan secara elektronik menyaring (menghaluskan) gangguan sinyal yang tidak diinginkan.

Sifat respons biosensor yang relatif lambat sangat meringankan masalah penyaringan kebisingan listrik. Sinyal analog yang dihasilkan pada tahap ini dapat dikeluarkan secara langsung tetapi biasanya diubah menjadi sinyal digital dan diteruskan ke tahap mikroprosesor tempat data diproses,

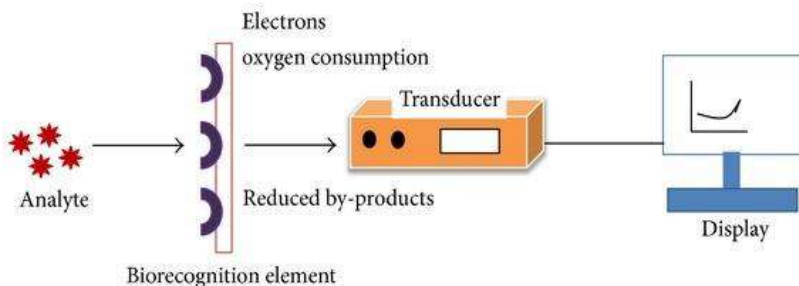
dimanipulasi ke unit yang diinginkan dan output ke perangkat tampilan atau penyimpanan data.[5]

8.3 Tipe Biosensor

Beberapa tipe biosensor dapat diklasifikasikan berdasarkan material biologi penyusunnya.

8.3.1 Electrochemical Biosensor

Umumnya biosensor elektrokimia didasarkan pada reaksi katalisis enzimatis yang mengkonsumsi atau menghasilkan elektron. Jenis enzim seperti ini dinamakan Enzim Redoks. Substrat biosensor ini umumnya mencakup tiga elektroda seperti counter, referensi, dan tipe kerja.



Gambar 8. 3. Elektrochemical Biosensor

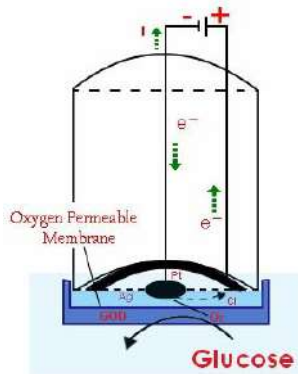
Objek analitis yang terlibat dalam respons yang terjadi pada permukaan elektroda aktif, dan reaksi ini juga dapat menyebabkan transfer elektron melintasi potensial lapisan ganda. Arus dapat dihitung pada potensi tertentu. Biosensor elektrokimia diklasifikasikan menjadi empat jenis [6]

- Amperometric Biosensor
- Potentiometric Biosensor
- Impedimetric Biosensor

- Voltammetric Biosensor

8.3.2 Amperometric Biosensor

Biosensor amperometri adalah perangkat terintegrasi berdasarkan jumlah arus yang dihasilkan dari oksidasi yang menawarkan informasi analitis kuantitatif yang tepat. Secara umum, Biosensor ini memiliki waktu reaksi, rentang energi & sensitivitas yang sebanding dengan Biosensor Potensiometri. Biosensor amperometri sederhana yang jarang digunakan mencakup elektroda “oksigen Clark”.

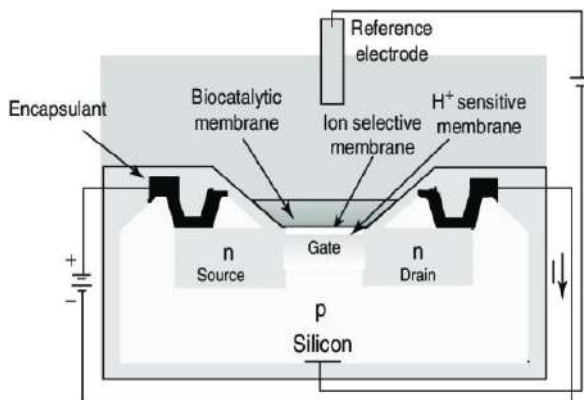


Gambar 8. 4. Contoh Tipe Amperometric Biosensor

Aturan biosensor ini didasarkan pada besarnya aliran arus antara Counter Electrode dan kerja yang didorong oleh respon redoks pada elektroda operasional. Memilih pusat analit sangat penting untuk beragam pilihan penggunaan, yang mencakup pemeriksaan obat dengan hasil tinggi, pengendalian kualitas, penemuan dan penanganan masalah, dan pemeriksaan biologis.

8.3.3 Biosensor Potensiometri

Biosensor jenis ini memberikan respons logaritmik melalui rentang energi yang tinggi. Biosensor ini dilengkapi dengan monitor yang menghasilkan prototipe elektroda yang diletakkan pada substrat sintetis, ditutupi oleh polimer berkinerja dengan beberapa enzim yang dihubungkan.



Gambar 8. 5. Potentiometric Biosensor

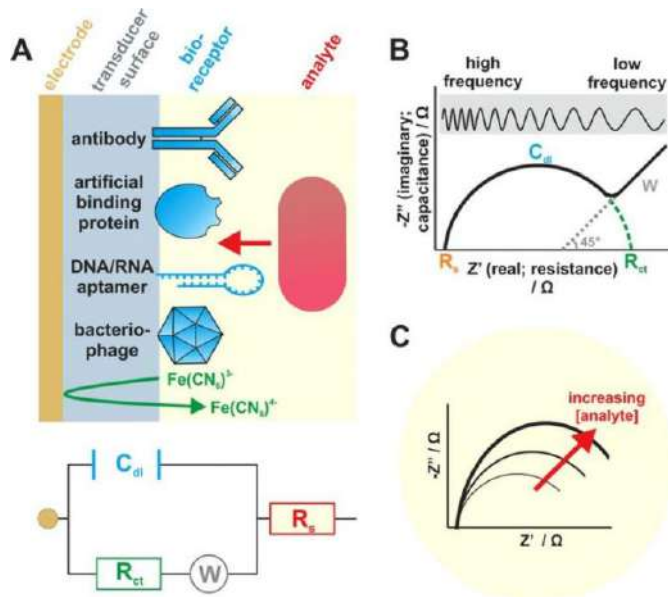
Biosensor jenis ini terdiri dari dua elektroda yang sangat responsif dan kuat. Mereka memungkinkan pengenalan analit pada tahapan yang sebelumnya hanya dapat dicapai dengan HPLC, LC/MS & tanpa persiapan model yang tepat. Semua jenis biosensor umumnya menempati persiapan sampel paling sedikit karena komponen pendeteksi biologis sangat pilih-pilih digunakan untuk analit yang bermasalah. Melalui perubahan fisik dan elektrokimia sinyal akan dihasilkan pada lapisan polimer penghantar akibat modifikasi yang terjadi di bagian luar biosensor..[7]

Perubahan ini diakibatkan oleh gaya ionik, hidrasi, pH, dan respons redoks, yang terakhir adalah label enzim yang berputar di atas substrat. Dalam FET, terminal gerbang telah diubah dengan antibodi atau enzim, yang juga dapat merasakan perhatian yang sangat rendah dari analit lain karena analit yang

diperlukan menuju terminal gerbang menyebabkan perubahan pada saluran ke sumber arus. Jenis utama dari biosensor potensiometri adalah ISE atau Elektroda Selektif Ion berdasarkan membran, ISFET (Transistor Efek Medan Selektif Ion), perangkat keadaan padat, elektroda layar cetak dan elektroda yang dimodifikasi secara kimia seperti oksida logam, atau polimer yang diendapkan secara elektro seperti lapisan sensitif.

8.3.4 Impedimetric Biosensor

EIS (*Electrochemical impedance spectroscopy*) merupakan indikator responsif untuk berbagai sifat fisik dan kimia. Tren peningkatan menuju perluasan biosensor Impedimetri saat ini sedang diamati. Teknik Impedimetri telah dilaksanakan untuk membedakan penemuan biosensor serta untuk menguji respons enzim lektin, asam nukleat, reseptor, sel utuh, dan antibodi yang dikatalisis.



Gambar 8. 6. Impedimetric Biosensor

8.3.5 Voltammetric Biosensor

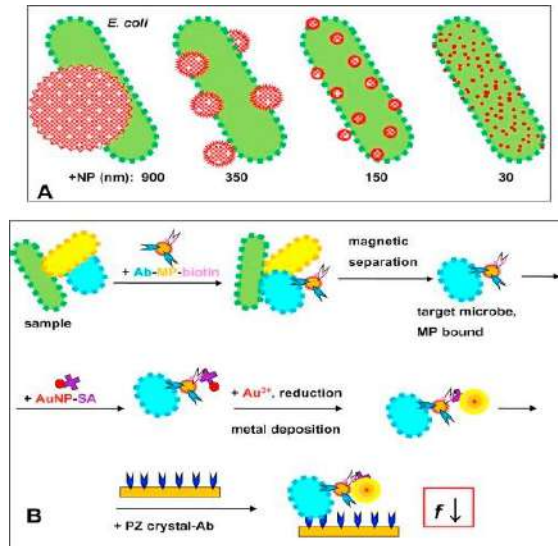
Komunikasi ini adalah dasar dari biosensor voltametri baru untuk memperhatikan akrilamida. Biosensor ini dibangun dengan elektroda karbon yang disesuaikan dengan Hb (*hemoglobin*), yang mencakup empat kelompok hem prostat (Fe). Jenis elektroda ini menunjukkan prosedur oksidasi atau reduksi Hb (Fe) yang dapat dibalik.

8.3.6 Physical Biosensor

Dalam kondisi klasifikasi, biosensor fisik merupakan sensor yang paling mendasar dan paling banyak digunakan. Ide utama di balik kategorisasi ini juga muncul dari pemeriksaan pikiran manusia. Karena metode kerja umum di balik kecerdasan pendengaran, penglihatan, sentuhan adalah bereaksi terhadap rangsangan fisik eksternal, oleh karena itu setiap alat pendeteksi yang menawarkan reaksi terhadap kepemilikan fisik medium disebut sebagai biosensor fisik. Biosensor fisik diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu biosensor piezoelektrik dan biosensor termometrik.[8]

8.3.7 Piezoelectric Biosensors

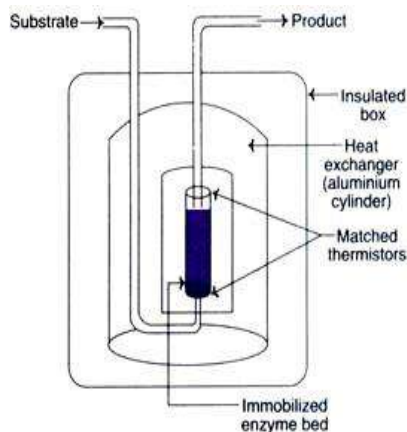
Sensor-sensor ini adalah perangkat kolektif analitik yang bekerja berdasarkan perekaman interaksi afinitas. Platform piezoelektrik merupakan elemen sensor yang bekerja berdasarkan hukum transformasi osilasi akibat adanya lompatan kumpulan pada permukaan kristal piezoelektrik. Dalam analisis ini, biosensor memiliki permukaan yang dimodifikasi dengan antigen atau antibodi, polimer yang dicap secara molekuler, dan informasi yang dapat diwariskan. Bagian deteksi yang dinyatakan biasanya disatukan dengan menggunakan nanopartikel.



Gambar 8. 7. Piezoelectric Biosensor

8.3.8 Thermometric Biosensor

Ada beberapa tipe reaksi biologi yang dapat dihubungkan pada deteksi panas, dan ini menjadi dasar biosensor termometrik. Sensor ini biasanya disebut biosensor thermal.

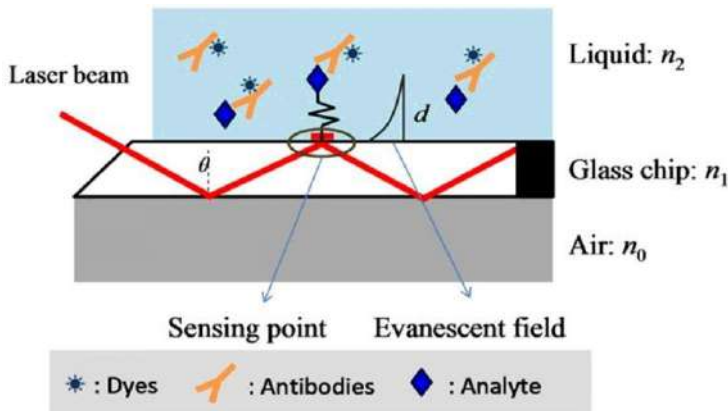


Gambar 8. 8. Thermometric Biosensor

Biosensor termometri digunakan untuk mengukur atau memperkirakan kolesterol serum. Ketika kolesterol dioksidasi melalui enzim oksidasi kolesterol, maka akan dihasilkan panas yang dapat dihitung. Demikian pula, penilaian glukosa, urea, asam urat, dan penisilin G dapat dilakukan dengan biosensor ini.

8.3.9 Biosensor Optik

Biosensor optik adalah perangkat yang menggunakan prinsip pengukuran optik. Mereka menggunakan serat optik serta transduser optoelektronik. Istilah optrode mewakili kompresi dari dua istilah optik & elektroda. Sensor-sensor ini terutama melibatkan antibodi dan enzim seperti elemen transduksi..



Gambar 8. 9. Optical Biosensor

Biosensor optik memungkinkan penginderaan peralatan non-listrik yang aman dan tidak dapat diakses. Keuntungan tambahannya adalah sensor ini sering kali tidak memerlukan sensor referensi, karena sinyal komparatif dapat dihasilkan dengan menggunakan sumber cahaya yang serupa dengan sensor pengambilan sampel. Biosensor optik diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu biosensor pendeteksi optik langsung dan biosensor pendeteksi optik berlabel.

8.3.10 Wearable Biosensors

Wearable biosensor adalah perangkat digital, yang digunakan pada tubuh manusia dalam berbagai sistem yang dapat dipakai seperti jam tangan pintar, kaos pintar, tato yang memungkinkan kadar glukosa darah, tekanan darah, laju detak jantung, dan sebagainya . [9]



Gambar 8. 10. Wearable Biosensor (WBS) [10]

Perkembangan teknologi saat ini , kita dapat melihat bahwa sensor-sensor ini memberikan sinyal perbaikan pada dunia. Penggunaan dan kemudahannya yang lebih baik dapat memberikan tingkat pengalaman orisinal terhadap status kebugaran pasien secara real-time. Aksesibilitas data ini akan memungkinkan pilihan klinis yang lebih baik dan akan mempengaruhi peningkatan hasil kesehatan dan penggunaan sistem kesehatan yang lebih mampu. Bagi manusia, sensor ini dapat membantu pengenalan dini tindakan kesehatan dan pencegahan rawat inap. Kemungkinan sensor ini mengurangi masa rawat inap dan rawat inap kembali di rumah sakit pasti akan menarik kesadaran positif di masa mendatang. Selain itu, informasi penelitian mengatakan bahwa WBS pasti akan menghadirkan peralatan kesehatan portabel yang hemat biaya ke seluruh dunia.

8.3.11 Biosensor Enzim

Sensor ini merupakan salah satu jenis alat analisis yang digunakan untuk menggabungkan suatu enzim menggunakan transduser untuk menghasilkan sinyal yang sebanding dengan konsentrasi analit target. Selanjutnya, sinyal ini dapat diperkuat, disimpan, diproses untuk analisis selanjutnya.

8.3.12 Biosensor DNA

Pengembangan biosensor DNA dapat dilakukan berdasarkan teknik identifikasi asam nukleat untuk analisis pengujian penyakit genetik & menular yang sederhana, cepat & ekonomis. Selain itu, deteksi seri DNA yang tepat juga penting dalam beberapa bidang seperti analisis makanan, klinis, lingkungan, dll. Untuk teknik deteksi yang lebih baik, teknologi SAM & SELEX digunakan untuk mengembangkan teknik pengenalan yang lebih baik untuk Biosensor DNA. Berbeda dengan antibodi atau enzim, pengenalan lapisan asam nukleat dapat dibuat & diregenerasi untuk beberapa kegunaan. Dibandingkan dengan hibridisasi normal, sensor-sensor ini, serta chip gen, memiliki banyak manfaat karena potensinya yang sangat besar untuk memperoleh data spesifik dengan cara yang lebih sederhana, lebih murah, dan lebih cepat. Lebih lanjut, sensor-sensor ini telah ditingkatkan tetapi penyelidikan mendasar masih diperlukan untuk meningkatkan teknologi sensor, rencana pendeteksian, instrumentasi untuk analitis & prosedur. Imunosensor Sensor imun diakui berdasarkan fakta bahwa antibodi memiliki afinitas tinggi terhadap antigen spesifiknya seperti antibodi yang secara khusus berikatan dengan racun atau patogen atau berinteraksi melalui komponen sistem kekebalan inang. Jenis biosensor ini didasarkan pada perangkat solid-state ligan afinitas di mana reaksi imunokimia dapat dihubungkan ke transduser.

8.3.13 Biosensor Magnetik

Jenis sensor ini digunakan untuk mengukur perubahan dalam efek atau sifat magnetis yang dibujuk secara magnetis. Sensor jenis ini menggunakan kristal atau partikel super-paramagnetik atau paramagnetik untuk mendeteksi komunikasi biologis melalui pengukuran perubahan sifat magnetik seperti perubahan induktansi kumparan, resistansi.

8.3.14 Biosensor Resonansi

Dalam biosensor resonansi, transduser seperti gelombang akustik dapat dihubungkan melalui bio-elemen. Setelah molekul analit terhubung ke membran, maka massa membran berubah. Jadi, perubahan terakhir dalam massa selanjutnya mengubah frekuensi resonansi transduser. Setelah itu, perubahan frekuensi dapat diukur.

8.3.15 Biosensor Deteksi Termal

Biosensor tipe deteksi termal menggunakan salah satu sifat dasar reaksi biologis seperti produksi atau penyerapan panas dan mengubah suhu saat reaksi terjadi. Perancangan sensor ini dapat dilakukan dengan menyatukan molekul-molekul enzim yang diimobilisasi menggunakan sensor suhu. Setelah analit dan pendekatan bersentuhan, maka reaksi panas enzim dapat diukur dan disesuaikan dengan konsentrasi analit. Seluruh panas yang dihasilkan jika tidak diserap dapat sebanding dengan entalpi molar dan jumlah total molekul dalam reaksi. Pengukuran suhu biasanya dicapai melalui termistor yang dikenal sebagai termistor enzim. Termistor ideal dalam beberapa aplikasi karena sensitif terhadap perubahan termal. Tidak seperti jenis transduser lainnya, sensor termal tidak memerlukan kalibrasi ulang secara teratur & tidak peka terhadap sifat elektrokimia & optik sampel. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi bakteri patogen & pestisida.

8.4. Aplikasi Biosensor

Perangkat biosensor mencakup unsur biologis sekaligus detektor fisiokimia dan fungsi utama perangkat ini adalah mendeteksi analit. Jadi, penerapan biosensor berada dalam jangkauan yang luas. Perangkat ini dapat diterapkan di bidang medis, industri makanan, sektor kelautan karena menawarkan sensitivitas & stabilitas yang baik dibandingkan dengan teknik biasa. Dalam beberapa tahun terakhir, sensor ini menjadi sangat populer, dan dapat diterapkan di berbagai bidang seperti pada gambar 11 .[11]



Gambar 8. 11. Aplikasi Biosensor pada berbagai Bidang

Secara lebih luas biosensor dapat diaplikasikan dalam bidang:

- Pemeriksaan kesehatan umum
- Pengukuran Metabolit
- Skrining penyakit

- Perawatan insulin
- Psikoterapi klinis & diagnosis penyakit
- Bidang Militer
- Aplikasi Pertanian dan Kedokteran Hewan
- Peningkatan obat, deteksi pelanggaran
- Pengolahan & pemantauan di Industri
- Pengendalian polusi ekologis
- Diagnostik & Klinis
- Aplikasi Industri & Lingkungan
- Studi & Interaksi Biomolekul
- Pengembangan Obat
- Deteksi Kejahatan
- Diagnosa medis
- Monitoring Bidang Lingkungan Hidup
- Kontrol kualitas
- Pengendalian Proses di Industri
- Produsen Farmasi & Penggantian Organ

Biosensor secara bertahap menjadi lebih rumit, sebagian besar disebabkan oleh perpaduan kemajuan dalam dua bidang teknologi seperti bioteknologi dan mikroelektronika. Ini adalah perangkat yang sangat penting untuk mengukur spektrum analit yang luas seperti gas, senyawa organik, bakteri & ion.

Demikian penjelasan secara global tentang gambaran umum biosensor dan komponen utama yang digunakan dalam sensor ini adalah komponen fisik seperti penguat & transduser sedangkan komponen biologis seperti analit & bio-elemen sensitif. Karakteristik biosensor terutama meliputi Linearitas, Sensitivitas, Selektivitas & Waktu Respons.

8.5 Penutup

Dari penjelasan tentang biosensor pada buku bab ini, dapat kita sampaikan bahwa biosensor dan bioelektronik telah digunakan di banyak bidang kesehatan, penelitian ilmu hayat, lingkungan, makanan & aplikasi militer. Selanjutnya, sensor ini dapat ditingkatkan pada bidang-bidang yang mengarah pada nanobioteknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Rachmad Almi Putra, *Biosensor Berbasis Surface Plasmon Resonance (SPR)*. Deepublish, 2021.
- [2] A. T. IE Tothil, "Eksiklopedia Ilmu Pangan dan Gizi (2nd Edition)," 2010, [Online]. Available: [https://www.sciencedirect.com.translate.goog/referencework/9780122270550/encyclopedia-of-food-sciences-and](https://www.sciencedirect.com.translate.goog/referencework/9780122270550/encyclopedia-of-food-sciences-and-nutrition?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc)
- [3] "Biosensor." <https://id.wikipedia.org/wiki/Biosensor>
- [4] N. E. Ntobuo and M. Yusuf, "Biosensor dalam Aplikasi Arduino," 2016.
- [5] S. Malhotra, A. Verma, N. Tyagi, and V. Kumar, "Biosensor: Principle, Types And Applications," no. 2, pp. 3639–3644, 2017.
- [6] Z. N. T. Phumlani Tetyana, Poslet Morgan Shumbula, "Biosensor: Design, Development and Applications," *Intech*, vol. 11, no. tourism, p. 13, 2016, [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- [7] N. Bhalla, P. Jolly, N. Formisano, and P. Estrela, "Introduction to biosensors," *Essays Biochem.*, vol. 60, no. 1, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1042/EBC20150001.
- [8] J. Ali, J. Najeeb, M. Asim Ali, M. Farhan Aslam, and A. Raza, "Biosensors: Their Fundamentals, Designs, Types and Most Recent Impactful Applications: A Review," *J. Biosens. Bioelectron.*, vol. 08, no. 01, pp. 1–9, 2017, doi: 10.4172/2155-6210.1000235.
- [9] B. A. Mandal, S. Robertson, and B. Sc, "Biosensor Applications." <https://www.news-medical.net/health/Biosensor-Appication.aspx>

- [10] "Wearable Biosensor."
[https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fpubs.rsc.org%2Fen%2FContent%2FImage%2FGA%2FD1LC00438G&tbnid=HDju2QKejQN8fM&vet=12ahUKEwiDicLBudmCAxV92jgGHSQ7AlAQMygSegQIARBv..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fpubs.rsc.org%2Fen%2Fcontent%2Farticlelanding%2F2021%2F1c%2Fd1lc00438g&docid=gu5kwbYufXwsfM&w=378&h=188&q=wearable biosensors&ved=2ahUKEwiDicLBudmCAxV92jgGHSQ7AlAQMygSegQIARBv](https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fpubs.rsc.org%2Fen%2FContent%2FImage%2FGA%2FD1LC00438G&tbnid=HDju2QKejQN8fM&vet=12ahUKEwiDicLBudmCAxV92jgGHSQ7AlAQMygSegQIARBv..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fpubs.rsc.org%2Fen%2Fcontent%2Farticlelanding%2F2021%2F1c%2Fd1lc00438g&docid=gu5kwbYufXwsfM&w=378&h=188&q=wearable+biosensors&ved=2ahUKEwiDicLBudmCAxV92jgGHSQ7AlAQMygSegQIARBv)
- [11] Elprocus, "Biosensor and Applications."
<https://www.elprocus.com/what-is-a-biosensor-types-of-biosensors-and-applications/>

BAB 9

SMART SENSOR

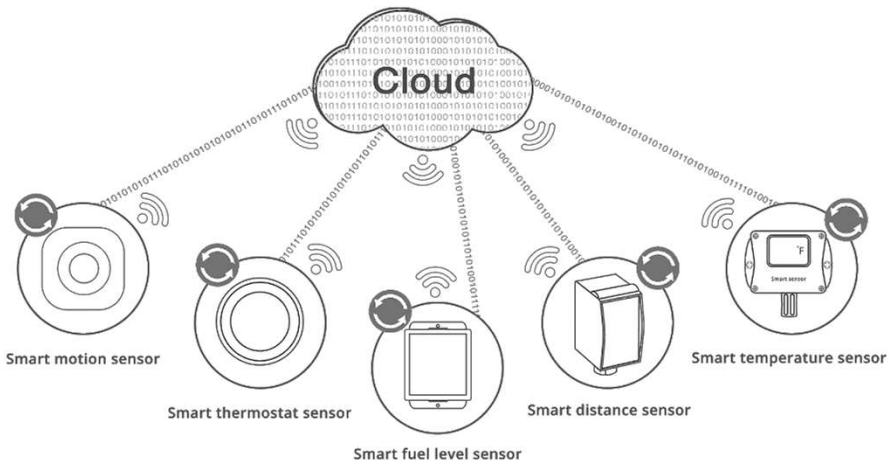
Oleh Dwi Sasmita Aji Pambudi

9.1 Pendahuluan

Teknologi transduser telah memainkan peran yang sangat penting dalam memahami kondisi lingkungan fisik sekitar, terutama di era dimana berbagai perangkat dapat semakin mudah terkoneksi dengan cerdas satu sama lain. Teknologi transduser merupakan faktor kunci dalam perkembangan sistem *smart sensor* yang semakin penting dalam dunia teknologi saat ini. Dalam dunia otomotif, sensor cerdas digunakan untuk memantau kondisi mesin, keamanan, dan efisiensi bahan bakar. Selain itu, sensor cerdas juga dapat mendeteksi tekanan ban, suhu mesin, dan bahkan memonitor serta memberikan sistem keselamatan bagi pengendara untuk menghindari terjadinya kecelakaan. Dalam dunia kesehatan, sensor cerdas dapat digunakan untuk memonitor kondisi parameter vital pasien, memberikan pengingat bagi pengguna untuk berolahraga, atau bahkan membantu dalam memberikan diagnosis suatu penyakit (Kumar et al., 2021). Sensor cerdas juga memiliki peran yang penting dalam perkembangan *Internet of Things* (IoT), menghubungkan berbagai perangkat di dalam rumah, dari kulkas cerdas hingga lampu cerdas, untuk menciptakan ekosistem *smart home system* yang saling terhubung dan dapat berfungsi secara efisien (Zhang & Wei, 2020).

Bab ini akan membahas konsep, perkembangan, dan aplikasi terkini dari *smart sensor*, yang telah merevolusi berbagai aspek kehidupan. Dengan kemampuan untuk mendeteksi,

mengukur, dan menginterpretasikan data fisik secara *real-time*, sensor cerdas telah memungkinkan solusi inovatif di berbagai bidang, mulai dari kesehatan, otomatisasi industri, transportasi, lingkungan, hingga perangkat *wearable & Internet of Things (IoT)* (Rahman et al., 2023).



Gambar 9. 1. Smart Sensor pada Sistem IoT
(Sumber : Realpars, 2020)

Bab ini juga akan menjelaskan tentang prinsip dasar sensor cerdas, berbagai jenis transduser dan teknologi terkini yang digunakan dalam sensor cerdas, serta bagaimana penggabungan transduser cerdas ini membantu dalam meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kemampuan adaptif sensor dalam berbagai aplikasi.

9.2 Prinsip Dasar *Smart Sensor*

Sensor cerdas, yang juga dikenal sebagai *smart sensor*, merupakan komponen kunci dalam kemajuan teknologi modern. Sensor cerdas mampu mengumpulkan data dari lingkungan fisiknya dengan menggunakan alat yang disebut transduser. Sensor cerdas memiliki kemampuan untuk mendeteksi, mengukur, dan memantau berbagai parameter lingkungan fisik,

seperti kecepatan, suhu, tekanan, kelembaban, cahaya, getaran, massa, deteksi keberadaan manusia dan banyak lagi (Meijer et al., 2018). *Smart sensor* bekerja dengan cara mengambil data dari lingkungan fisik dan mengubah properti fisik tersebut menjadi sinyal listrik yang dapat dihitung (Mukherjee et al., 2020). Sebagai contoh aplikasi dari *smart sensor* yaitu *Digital Motion Processor* (DMP). *Digital Motion Processor* merupakan jenis mikroprosesor yang memungkinkan sensor untuk melakukan pemrosesan data secara internal, seperti *noise filtering* atau berbagai macam pengkondisian sinyal.

Sensor cerdas tidak hanya sebagai alat pengukur pasif, melainkan perangkat yang mampu melakukan pemrosesan data dan memberikan informasi yang penting dalam waktu nyata (*real-time*). Sensor cerdas berfungsi dalam menerjemahkan data analog dari hasil pengukuran parameter fisik atau lingkungan menjadi data yang siap digunakan dalam pengolahan data digital lebih lanjut (Galar & Kumar, 2017).

Sensor cerdas dilengkapi dengan kemampuan untuk menjalankan fungsi yang telah diprogramkan berdasarkan data yang dikumpulkan. Ini berarti sensor ini bisa melakukan perhitungan, pengambilan keputusan, atau bahkan tindakan tertentu sesuai dengan situasi yang dihadapi. Setelah fungsi tersebut selesai, sensor cerdas tidak hanya menyimpan data tersebut untuk dirinya sendiri, melainkan juga mentransmisikannya melalui koneksi jaringan. Data ini dapat diakses oleh perangkat lain atau kontroler utama untuk dilakukan analisis lebih lanjut atau aksi kontrol yang diperlukan (Galar & Kumar, 2017).

Sensor menjadi elemen utama dalam sistem instrumentasi, dan dalam era saat ini, mayoritas sensor yang digunakan adalah yang dikenal sebagai sensor cerdas. Sensor cerdas ini memiliki karakteristik unik, yaitu gabungan antara komponen penginderaan dan komponen elektronik dalam satu *chip* tunggal. Dengan demikian, perpaduan antara sistem elektronik dan

sensor untuk menciptakan sensor cerdas telah dikenal dan digunakan secara luas. Salah satu keunggulan utama dari sensor cerdas adalah kemampuannya untuk melakukan pengambilan keputusan secara otomatis. Selain itu, sensor ini juga memiliki banyak keunggulan lain, termasuk rasio S/N (*sinyal to noise*) yang lebih tinggi, pemrosesan sinyal yang cepat, kemampuan otomatisasi kalibrasi, kemampuan *self-testing*, keandalan yang tinggi, ukuran fisik yang lebih kecil, serta kemampuan mendeteksi dan mencegah kegagalan (Elprocus, 2021).

Smart Sensor merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan sensor yang memiliki kemampuan pemrosesan secara internal, yang memungkinkan untuk merespons kondisi parameter fisik secara lokal tanpa harus mengacu kembali ke kontroler utama (Morris & Langari, 2012). Pada umumnya, *smart sensor* mempunyai beberapa keunggulan diantaranya yaitu memiliki tingkat akurasi setidaknya dua kali lipat lebih baik daripada perangkat non-cerdas, dapat mengurangi biaya pemeliharaan (*low maintenance cost*), dan membutuhkan kabel yang lebih sedikit untuk menuju lokasi penggunaan sensor. Selain itu, stabilitas penggunaan sensor dalam jangka panjang juga dapat ditingkatkan, dan mampu mengurangi frekuensi perulangan proses kalibrasi yang diperlukan. Terdapat berbagai fungsi yang dimiliki oleh *smart sensor*, beberapa diantaranya minimal mencakup (Morris & Langari, 2021):

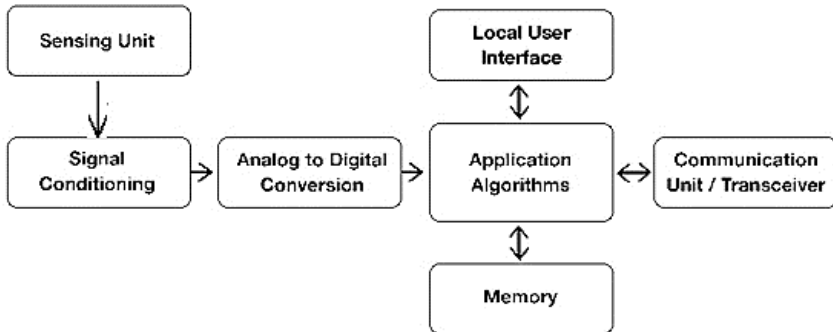
1. kemampuan kalibrasi dalam jarak jauh (*remote calibration*),
2. kemampuan melakukan *self-diagnosis* terhadap kesalahan sensor,
3. kemampuan melakukan perhitungan dan pengaturan secara otomatis terhadap akurasi pengukuran dan kompensasi terhadap kesalahan acak (*random error*),
4. kemampuan melakukan penyesuaian pengukuran tidak linier (*non-linear*) agar menghasilkan nilai keluaran yang linier, serta

5. kemampuan memberikan kompensasi terhadap efek beban (*loading effects*) dalam proses sistem pengukuran.

Sensor cerdas memiliki sejumlah fitur yang membuatnya sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi. Salah satunya adalah kemampuan identifikasi diri, yang memungkinkan sensor untuk secara otomatis mengenali dirinya sendiri dan berkomunikasi dengan perangkat lain dalam jaringan. Sensor ini juga mampu menghasilkan data dalam format digital, yang memudahkan pemrosesan dan analisis data. Kemampuan kalibrasi dan kompensasi cerdas memastikan bahwa sensor tetap akurat dan dapat diandalkan seiring waktu. Sensor cerdas juga sering memiliki kapasitas multi-sensor, yang berarti mereka dapat mengukur beberapa parameter sekaligus, menghemat waktu dan sumber daya (Fan et al., 2023). Selain itu, mereka memiliki kemampuan komunikasi yang memungkinkan konfigurasi dan pemantauan dari jarak jauh, memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem dengan efisiensi tinggi.

9.3 Komponen Penyusun *Smart Sensor*

Diagram blok *Smart Sensor* mencakup beberapa komponen atau blok yang berbeda, yang masing-masing memiliki peran tertentu dalam operasi sensor cerdas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.1. Blok-blok tersebut mencakup unit penginderaan (*sensing unit*), pengolahan sinyal (*signal conditioning*), konversi sinyal analog ke digital (*analog to digital conversion*), algoritma program (*application algorithms*), pengaturan internal (*local user interface*), memori, dan unit komunikasi untuk penerimaan & pengiriman data (*transceiver*). Setiap blok memiliki fungsi tertentu dalam pengumpulan, pengolahan, dan transmisi data oleh *smart sensor* (Elprocus, 2021).



Gambar 9. 2. Diagram Blok Smart Sensor
(Sumber : Elprocus, 2021)

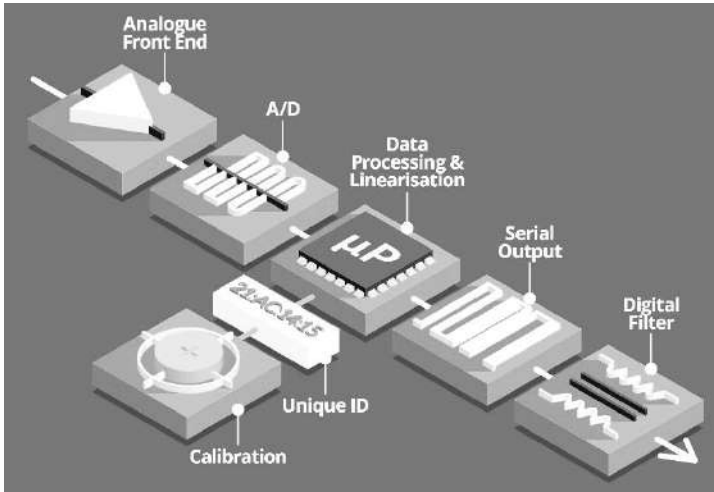
Fungsi dari berbagai komponen yang terdapat dalam diagram blok *Smart Sensor*, seperti pada Gambar 9.1, adalah sebagai berikut.

1. *Sensing Unit*: Unit ini berfungsi untuk mendeteksi adanya perubahan dalam parameter fisik dan menghasilkan sinyal listrik yang sesuai, data fisik diubah menjadi data digital.
2. *Signal Conditioning Unit*: Unit pengolahan sinyal berfungsi untuk mengatur sinyal *input* agar sinyal tersebut sesuai dengan kebutuhan/persyaratan untuk pemrosesan sinyal pada tahap berikutnya tanpa terjadi kehilangan/kerusakan data. Hal tersebut memastikan bahwa sinyal yang dihasilkan oleh unit penginderaan siap diolah untuk langkah selanjutnya dalam pemrosesan data.
3. *Analog to Digital Converter (ADC)*: ADC mengonversi sinyal dari bentuk analog menjadi bentuk digital agar dapat diolah oleh mikroprosesor. Hal tersebut diperlukan karena banyak operasi program berbasis digital memerlukan data dalam bentuk digital.
4. *Local User Interface (LUI)*: *User Interface* berupa perangkat yang terpasang di lapangan dan digunakan oleh operator

untuk memantau dan mengendalikan peralatan sistem, guna memudahkan untuk berinteraksi dengan peralatan sensor.

5. *Application Algorithm*: Algoritma yang digunakan untuk memproses data yang diterima dari *smart sensor* berdasarkan program yang telah dimuat sebelumnya dan menghasilkan sinyal keluaran sesuai dengan kebutuhan atau tujuan tertentu.
6. *Memory*: Memori digunakan untuk menyimpan data yang diterima dan diproses pada *smart sensor*. Ini memungkinkan penyimpanan data sebagai referensi atau tujuan penggunaan lain nantinya.
7. *Communication Unit*: Unit komunikasi bertugas mengirimkan sinyal keluaran dari program pada mikroprosesor ke perangkat utama melalui jaringan komunikasi data. Unit ini juga digunakan untuk menerima sinyal perintah dari perangkat utama untuk melaksanakan perintah kontrol tertentu. Unit ini memungkinkan *smart sensor* dapat berkomunikasi dengan sistem utama/pengontrol eksternal.

Setiap sensor menggabungkan beberapa komponen utama, antara lain, unsur penginderaan (*sensing element*), *front end* analog, konverter analog ke digital (ADC), dan pemrosesan digital untuk menghasilkan keluaran digital yang terlinierisasi (Tek Troniks, 2021). Dengan kata lain, sensor ini dirancang untuk mentransformasikan sinyal yang diterima menjadi keluaran digital yang memadai dan sesuai secara linier dengan *input* yang diterima. Dengan menyatukan fungsi-fungsi ini dalam satu sensor, proses pengukuran dan pemrosesan sinyal dapat dilakukan secara efisien dalam satu paket sensor.



Gambar 9. 3. Blok Sistem Smart Sensor
(Sumber : Tek Troniks, 2021)

9.4 Proses Kalibrasi *Smart Sensor*

Teknik *self-calibration* memiliki aplikasi luas dalam penggunaan sensor yang memerlukan akurasi tinggi dan presisi dalam pengukuran. Prinsip kerja dari kalibrasi internal (*self-calibration*) cukup sederhana untuk dilakukan. Sensor-sensor dengan keluaran sinyal listrik dapat menggunakan level tegangan referensi yang diketahui untuk dapat melakukan kalibrasi. Jenis sensor *load-cell*, yang digunakan untuk mengukur berat, dapat menyesuaikan pembacaan nilai *output* menjadi nol ketika tidak ada beban yang diberikan untuk diukur. Penggunaan referensi tegangan dan penyesuaian *output* pada sensor merupakan cara yang efisien untuk memastikan bahwa sensor tetap dalam kondisi terkalibrasi yang baik (Morris & Langari, 2012).

Dalam penggunaan sensor lainnya, ada dua metode *self-calibration* yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan tabel pencarian (*lookup table*) dan menggunakan teknik interpolasi (Morris & Langari, 2021). Metode *self-calibration*

dengan menggunakan *lookup table* membutuhkan kapasitas memori besar untuk menyimpan nilai-nilai koreksi tertentu (*correction point*). Di samping itu, sejumlah besar data juga harus dikumpulkan dari sensor selama proses kalibrasi.

Kalibrasi dengan teknik interpolasi lebih sering digunakan karena memberikan solusi yang efisien dalam hal pengelolaan data dan penghematan memori saat menjaga keakuratan sensor. Teknik tersebut menggunakan metode interpolasi untuk menghitung nilai koreksi yang diperlukan pada setiap pengukuran tertentu dan hanya membutuhkan matriks *calibration point* sederhana (Morris & Langari, 2021). *Self-calibration* memiliki peran penting dalam menjaga performa sensor dalam berbagai aplikasi teknologi yang memerlukan pengukuran yang handal dan akurat.

9.5 Kapabilitas *Smart Sensor*

Smart sensor memiliki kemampuan untuk melakukan diagnosis secara mandiri (*self-diagnosis*) untuk mendeteksi kegagalan dalam melakukan pengukuran sensorik (*sensing measurement*) dengan memonitor perubahan sinyal internal di dalam sensor (Morris & Langari, 2012). Dengan teknologi canggih yang dimilikinya, *smart sensor* dapat secara otomatis memantau kondisi internal di dalamnya dan mengidentifikasi adanya potensi masalah atau gangguan. Hal tersebut memungkinkan perangkat *smart sensor* untuk menjaga kinerjanya tetap optimal dan dapat menghindari terjadinya kegagalan sistem yang tak terduga. Dengan kemampuan *self-diagnosis* ini, *smart sensor* memberikan keandalan yang tinggi dalam berbagai aplikasi, dari industri otomotif hingga pemantauan lingkungan.

Perlu diperhatikan juga bahwa *smart sensor* tidak selalu mampu mendeteksi semua jenis kegagalan yang mungkin terjadi (Morris & Langari, 2021). *Smart sensor* dapat melakukan pemeriksaan sederhana untuk mendeteksi terjadinya kegagalan

yang umum terjadi, seperti kegagalan isolasi pada termokopel. Sebagai contoh, dalam *self-diagnosis* sensor, dapat dilakukan pengukuran kapasitansi dan resistansi pada lapisan isolasi termokopel untuk mengidentifikasi potensi kerusakan pada isolasinya. Umumnya, kode khusus (*specific code*) digunakan untuk menunjukkan berbagai jenis kegagalan yang mungkin terjadi, seperti misalkan terjadi kegagalan isolasi dalam perangkat tertentu.

Namun, tantangan berikutnya muncul yaitu dalam membedakan antara kondisi terjadi penyimpangan pengukuran normal dan kondisi terjadi kegagalan sensor. Beberapa *smart sensor* mengatasi masalah tersebut dengan menyimpan beberapa nilai yang diukur di sekitar titik tertentu dan menentukan batas nilai minimum & maksimum yang diharapkan dari nilai yang diukur tersebut. Selain itu, teknik ketidakpastian dapat digunakan untuk mengukur dampak terjadinya kegagalan sensor terhadap kualitas pengukuran, sehingga memungkinkan penggunaan sensor yang masih berfungsi dalam beberapa situasi, meskipun telah mengalami kegagalan (Morris & Langari, 2021).

9.6 Akurasi dan Linieritas *Smart Sensor*

Smart sensor memiliki kemampuan untuk melakukan perhitungan secara otomatis terkait akurasi pengukuran dengan menghitung rata-rata nilai dari sejumlah pengukuran dan menganalisis semua faktor yang memengaruhi tingkat akurasi. Proses penghitungan rata-rata nilai tersebut juga berfungsi untuk mengurangi besarnya kesalahan pengukuran acak (*random error*) secara signifikan (Morris & Langari, 2012). Dengan melakukan hal tersebut, *smart sensor* dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam berbagai aplikasi.

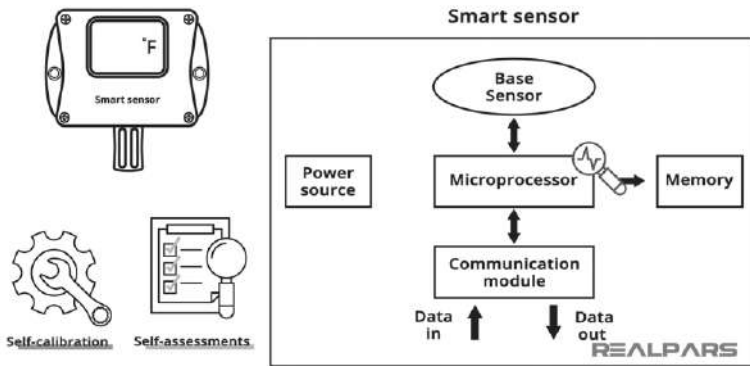
Selain itu, dalam penggunaan sensor yang menghasilkan nilai *output* sensor yang non-linier terhadap nilai aktual yang diukur, pemrosesan digital dapat mengubah keluaran sensor menjadi bentuk yang linier, dengan syarat bahwa sifat nonlinieritas tersebut telah diketahui sehingga persamaan yang menggambarkan kondisi tersebut dapat diprogram ke dalam sensor (Morris & Langari, 2021). Hal ini memungkinkan sensor untuk memberikan keluaran yang linier dan lebih mudah diinterpretasikan, memastikan hasil pengukuran yang lebih konsisten dan akurat, bahkan dalam situasi dengan karakteristik nonlinieritas. Salah satu metode yang sering digunakan dalam menentukan persamaan tersebut adalah dengan menggunakan metode regresi linier.

9.7 Perbandingan Normal Sensor & Smart Sensor

Mengetahui perbandingan antara sensor konvensional (*normal sensor*) dan sensor cerdas (*smart sensor*) menjadi kunci dalam memahami evolusi teknologi penginderaan (*sensing*). Sensor yang umum digunakan memiliki keterbatasan dalam pemrosesan dan keluaran datanya, sementara *smart sensor*, dengan kemampuan pemrosesan *onboard* yang dilengkapi dengan fitur-fitur cerdasnya, membawa inovasi yang signifikan. Pemahaman perbedaan antara keduanya menjadi landasan penting untuk mengoptimalkan aplikasi sensor di berbagai bidang, dari industri hingga pengembangan teknologi yang semakin canggih. Perbedaan-perbedaan spesifik antara kedua jenis sensor tersebut mencakup aspek-aspek seperti fungsi, kemampuan, komponen, dan karakteristik lain yang membedakan antara sensor biasa (*normal sensor*) dan sensor cerdas (*smart sensor*). Perbedaan antara kedua jenis sensor dapat ditunjukkan pada Tabel 8.1. Sedangkan kelebihan dan kelemahan dari *Smart Sensor* adalah sebagai berikut (Elprocus, 2021).

1. Kelebihan *Smart Sensor* , yaitu:

- a) **Ukuran yang lebih kecil:** memungkinkan integrasi yang lebih mudah dalam berbagai sistem atau perangkat.
- b) **Kemudahan operasional:** mudah dalam penggunaan, perancangan, dan perawatan, serta mudah dalam pengintegrasian di berbagai aplikasi.
- c) **Performansi tinggi:** tingkat kinerja sensor yang tinggi guna memberikan respon yang cepat dan hasil yang akurat.
- d) **Kemampuan komunikasi data yang tinggi:** tingkat kecepatan dalam proses komunikasi dan keandalan yang tinggi karena diproses konversi langsung oleh *processor*.
- e) **Kemampuan kalibrasi dan pemeriksaan otomatis:** mampu melakukan kalibrasi secara otomatis (*self-calibration*) serta melakukan pemeriksaan dan pengendalian proses secara otomatis (*self-assessments*) guna meningkatkan ketepatan dan kinerja sensor.

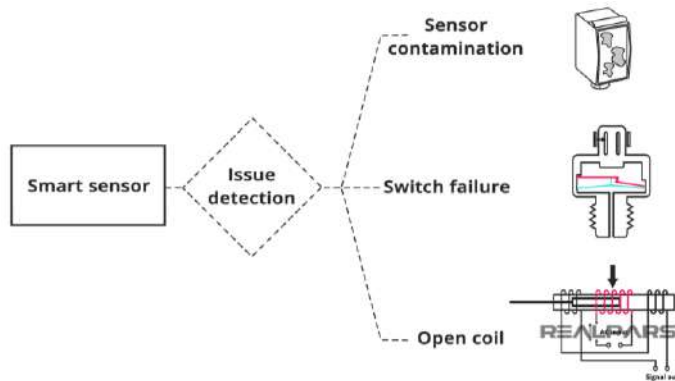


Gambar 9. 4. Self-calibration & Self-assessments pada Smart Sensor
(Sumber : Realpars, 2020)

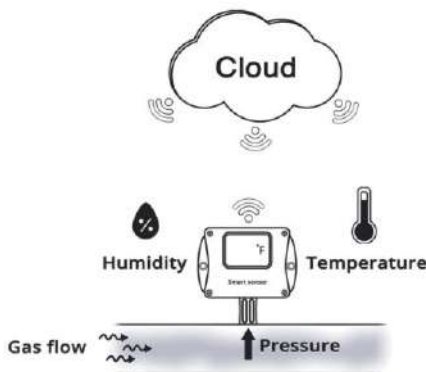
- f) **Kemampuan pendeteksian gangguan:** dapat mendeteksi permasalahan seperti kegagalan *switch*

(*switch failures*), kondisi koil terbuka (*open coils*), dan adanya kontaminasi sensor (*sensor contamination*) terhadap pengaruh luar.

- g) **Kemudahan optimasi proses manufaktur:** adanya kemungkinan dilakukan optimasi secara mudah dalam proses manufaktur yang memerlukan perubahan.
- h) **Besarnya penyimpanan data:** memiliki penyimpanan data sistem *multi-sensing* dalam jumlah banyak untuk digunakan sebagai referensi dan proses analisis lebih lanjut.



Gambar 9. 5. Pendeteksian Gangguan pada Smart Sensor
(Sumber : Realpars, 2020)



Gambar 9. 6. Sistem Multi-sensing pada Smart Sensor
(Sumber :Realpars, 2020)

2. Kelemahan *Smart Sensor*, yaitu:

- a) **Ketergantungan pada keandalan sensor:** keandalan *smart sensor* dapat menjadi masalah utama jika dirusak atau dihilangkan dari sistem, karena dapat berdampak buruk pada banyak sistem.
- b) **Memerlukan sensor dan aktuator:** membutuhkan baik sensor maupun aktuator agar dapat bekerja secara optimal.
- c) **Menggunakan *processor* eksternal untuk proses kalibrasi sensor:** proses pengkalibrasian sensor harus diatur oleh *processor* eksternal, dan berakibat menambah kompleksitas sistem.
- d) **Biaya produksi mahal akibat kompleksitas tinggi pada *wired smart sensor*:** *smart sensor* berkabel memiliki kompleksitas sistem yang tinggi, sehingga memerlukan biaya produksi yang tinggi dan harga jual yang tinggi juga.
- e) **Kerentanannya terhadap gangguan elektromagnetik:** *smart sensor* rentan terhadap gangguan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran, terutama dalam lingkungan dengan interferensi elektromagnetik tinggi.

Tabel 9. 1. Perbedaan Normal Sensor & Smart Sensor

Parameter	<i>Normal Sensor</i>	<i>Smart Sensor</i>
Fungsi kerja	Perangkat yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan fisik dan lingkungan kimia	Bagian dari sensor yang dilengkapi dengan unit komponen lain yang mendukung pengolahan sinyal
Sinyal yang dihasilkan	Sinyal <i>output</i> dalam bentuk sinyal analog atau digital yang membutuhkan	Sinyal <i>output</i> umumnya berupa data digital, yang sudah siap digunakan dan dapat

Parameter	<i>Normal Sensor</i>	<i>Smart Sensor</i>
	pemrosesan tambahan lebih lanjut sebelum dapat digunakan secara langsung	langsung diproses oleh perangkat atau sistem, tanpa memerlukan konversi tambahan
Komponen penyusun	Sensor biasa terdiri dari tiga komponen utama, yaitu elemen/ <i>probe</i> sensor, kemasan (<i>packaging</i>) & pin koneksi sinyal, serta blok pemrosesan sinyal	Sensor cerdas mencakup berbagai komponen seperti penguat (<i>amplifier</i>), transduser, <i>filter</i> , unit ADC, unit pengolah data sensor (<i>processor</i>)
Penggunaan	Sensor biasa lebih disukai ketika ingin merancang perangkat yang memerlukan kontrol penuh terhadap <i>input</i> sensor	Sensor cerdas umumnya lebih disukai dibandingkan sensor biasa karena memiliki kemampuan pemrosesan bawaan
Harga	Sensor biasa tidak mahal karena memiliki sedikit komponen penyusunnya	Sensor cerdas lebih mahal karena terdapat berbagai fitur komponen yang melengkapinya

Sumber: Elprocus, 2021

9.8 Ragam Aplikasi *Smart Sensor*

Smart sensor memiliki kemampuan untuk melakukan perhitungan secara otomatis terkait akurasi pengukuran dengan menghitung rata-rata nilai dari sejumlah pengukuran dan

menganalisis semua faktor yang memengaruhi tingkat akurasi. Proses penghitungan rata-rata nilai tersebut juga berfungsi untuk mengurangi besarnya kesalahan pengukuran acak (*random error*) secara signifikan (Morris & Langari, 2012). Dengan melakukan hal tersebut, *smart sensor* dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam berbagai aplikasi.

Dalam perkembangannya, *smart sensor* memiliki beragam aplikasi, terutama dalam memantau proses industri, seperti pengumpulan data, pengukuran, dan pengiriman data ke *platform* komputasi awan (*cloud computing*) secara terpusat untuk dilakukan analisis dengan pola-pola yang berbeda (Garrido-Momparder & Peris, 2022). Data yang terkumpul dapat dengan mudah dipantau oleh para pengambil keputusan kapan saja.



Gambar 9. 7. Aplikasi Smart Sensor pada Smart City

(Sumber : ADTELL Integration, 2022)

Smart sensor digunakan secara luas untuk mekanisme pemantauan dan kontrol (*monitoring & control*) di berbagai lingkungan, termasuk sistem pengendalian kualitas air (Garrido-

Momparler & Peris, 2022), jaringan listrik cerdas (*smart grids*) (Fan et al., 2023), pemantauan dan pengendalian lalu lintas (*traffic monitoring & control*) (Barodi et al., 2023), pemantauan kondisi lingkungan (*environmental monitoring*) (Garrido-Momparler & Peris, 2022), penghematan energi (*conserving energy*), pemantauan dan pengendalian sistem jarak jauh (*remote system*), dan pendeteksian kesalahan (*fault diagnostics*) pada perangkat tertentu seperti pada sistem telekomunikasi (Hautefeuille, 2013), transportasi, gedung/bangunan (Tsao & Vu, 2023), sistem logistik, sistem budidaya perikanan (Ullo & Sinha, 2020), pertanian (Rajak et al., 2023), dan aplikasi industri lainnya.

9.9 Aplikasi *Smart Sensor* dalam Bidang Otomotif

Salah satu contoh penggunaan *smart sensor* dalam bidang otomotif diantaranya yaitu sensor radar. Sensor radar dengan tipe AWR1243, AWR1443, AWR1642 merupakan *transceiver* FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) yang terintegrasi dalam satu *chip* yang mampu beroperasi pada pita frekuensi 76 hingga 81 GHz. Sensor ini menjadi solusi ideal untuk sistem radar otomotif yang membutuhkan daya rendah, pemantauan diri, dan akurasi yang sangat tinggi (Texas Instruments, 2021). Dengan kemampuan ini, perangkat AWR1243 dapat digunakan dalam berbagai aplikasi di industri otomotif, memberikan kinerja radar yang tinggi dalam ruang yang terbatas dan membutuhkan daya rendah.

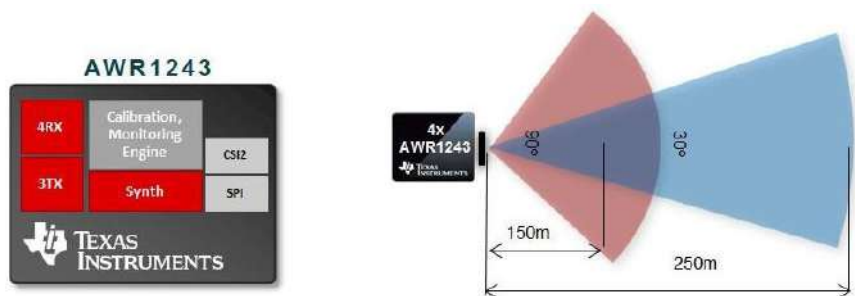


Gambar 9. 8. Penggunaan *Smart Sensor* pada Bidang Otomotif
(Sumber : Octopart, 2019)

Pada dasarnya, sebagian besar mobil baru saat ini telah dilengkapi dengan setidaknya satu modul radar berfrekuensi 24 atau 77 GHz. Modul-modul ini sudah terintegrasi dengan sistem kendaraan ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) untuk deteksi objek (*object detection*), pengereman otomatis (*automatic braking*), dan penghindaran tabrakan (*collision avoidance*) (Octopart, 2019). Meskipun modul radar otomotif yang sepenuhnya fungsional sudah tersedia secara komersial, beberapa pihak mungkin tertarik dalam mengembangkan modul-modul terbaru yang menawarkan resolusi yang lebih tinggi, ukuran yang lebih kecil, dan konsumsi daya yang lebih rendah.

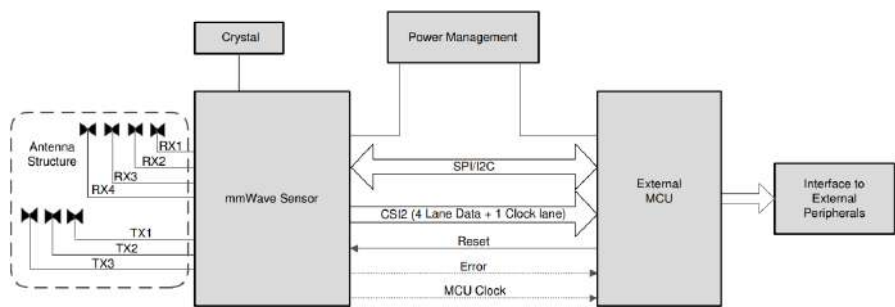
Transceiver radar berperan penting dalam aplikasi otomotif dalam mendeteksi objek pada jarak dekat dan jarak jauh berdasarkan frekuensi yang diinginkan untuk fungsionalitas tertentu. BGT24ATR dari *Infineon* beroperasi pada 24 GHz dan menawarkan konsumsi daya rendah (*low power consumption*) dan suplai tegangan tunggal (*single-supply voltage*) untuk aplikasi seperti *blind spot detection* dan *parking assistance*. Sedangkan AWR1243 adalah *transceiver* FMCW 76 hingga 81 GHz dengan sistem monolitik 3TX, 4RX, yang memungkinkan rekonfigurasi dinamis untuk berbagai mode sensor. Adapun AWR1443 adalah *transceiver* 77 GHz yang cocok untuk radar FMCW di ADAS, yang

menyediakan fitur standar untuk mendeteksi halangan pada jarak 30 hingga 250 meter (Octopart, 2019).



Gambar 9. 9. Kemampuan jangkauan dan sudut pandang dari WR1243 mmWave transceiver

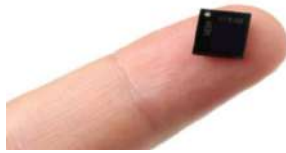
(Sumber : Kishore Ramaiah, 2017)



Gambar 9. 10. Diagram Aplikasi AWR1243 RF transceiver

(Sumber : Texas Instrument, 2021)

Chip sensor TEF8102EN/N1E, beroperasi antara 76 dan 81 GHz, menawarkan modulasi *chirp* 4 GHz dalam radar FMCW dengan resolusi tinggi, noise rendah, dan daya output tinggi, serta memenuhi standar ISO26262 (Octopart, 2019). Radar otomotif dengan frekuensi 77 GHz dapat menjadi komponen standar pada kendaraan baru, dan juga pada kendaraan tanpa awak UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau *drone*, yang didukung dengan perangkat *transceiver*.

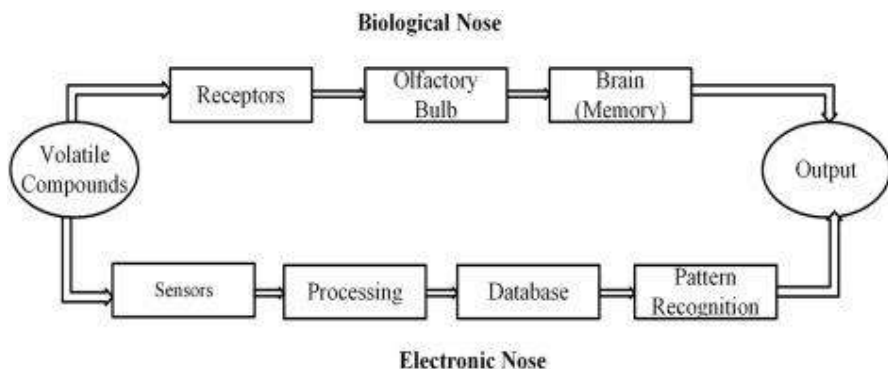


Gambar 9. 11. Sensor TEF8102EN/N1E transceiver
(Sumber : Texas Instrument, 2021)

9.10 Aplikasi *Smart Sensor* dalam Bidang Kesehatan

Elektronika telah menjadi bagian penting dalam bidang biomedis, khususnya dalam pengembangan sensor pintar untuk pemantauan kesehatan dan deteksi penyakit secara *real-time*. Penggunaan *biosensor* dalam aplikasi *Point of Care* (POC) semakin berkembang untuk meningkatkan manajemen kesehatan, dengan upaya untuk membuatnya lebih efisien. Integrasi dengan teknologi MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) dan NEMS (*Nano-Electro-Mechanical Systems*) memungkinkan otomatisasi dan ketepatan *biosensor*, terutama dalam mendeteksi senyawa organik VOC (*Volatile Organic Compounds*) melalui analisis pernapasan (Kumar et al., 2021).

Penerapan *biosensor* dalam POC mendorong penelitian terkait nanoteknologi, material sensor dengan fungsi canggih, pengembangan prototipe sistem *sensing*, kecerdasan buatan (AI), dan *Internet of Things* (IoT). Penggunaan *biosensor* dalam analisis napas dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai penyakit seperti diabetes, Parkinson, infeksi saluran kemih, kanker paru-paru, penyakit ginjal, infeksi pankreas, dll (Kumar et al., 2021). Sistem *smart sensor* yang dikembangkan dapat mendeteksi senyawa organik volatil (VOC). Pengintegrasian IoT dengan *machine learning* & kecerdasan buatan, memiliki peran penting dalam pemantauan kesehatan dan diagnosis penyakit secara *real-time* (Ha et al., 2020; Rahman et al., 2023).



Gambar 9. 12. Blok Diagram Biologic Nose and Electronic Nose

(Sumber : Kumar et al., 2021)

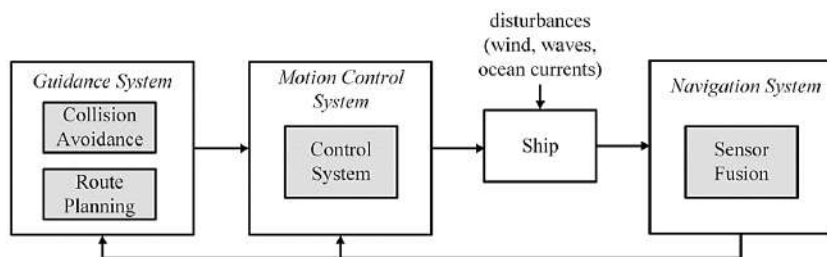
9.11 Aplikasi *Smart Sensor* dalam Bidang Kelautan

Aplikasi *smart sensor* dalam kelautan membawa dampak positif dalam pemantauan dan pengelolaan lingkungan laut. *Smart sensor*, yang terintegrasi di kapal atau stasiun pengamatan laut, dapat mendeteksi parameter seperti suhu air, salinitas, tekanan, dan kualitas air secara *real-time* (Xu et al., 2019). Informasi ini mendukung riset ilmiah, manajemen sumber daya perikanan, dan mitigasi dampak perubahan iklim (Bakker, 2022). *Smart sensor* juga digunakan untuk deteksi dini tsunami, pemantauan aktivitas vulkanik di dasar laut, dan keamanan pelayaran, membuka potensi baru dalam pemeliharaan lingkungan laut dan keberlanjutan ekosistem laut global.

Aplikasi *smart sensor* dalam industri pelayaran membawa revolusi dalam pemantauan dan operasional kapal. Sensor pintar terintegrasi di kapal dalam memantau kondisi mesin, suhu, tekanan, dan kinerja sistem lainnya secara *real-time*, mencegah potensi kerusakan, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. *Smart sensor* digunakan dalam pemantauan keamanan kapal, mendeteksi risiko kebakaran atau kebocoran, serta memberikan

data cuaca dan navigasi yang akurat, menciptakan perubahan positif dalam manajemen dan pengembangan industri maritim (Xu et al., 2019).

Aplikasi *smart sensor* dalam navigasi kapal meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam perjalanan laut. *Smart sensor* yang terintegrasi, dapat memberikan informasi *real-time* mengenai posisi, arah, dan keadaan cuaca, membantu para awak kapal membuat keputusan tepat dan mengoptimalkan rute pelayaran. Sensor juga mendeteksi potensi risiko seperti objek di jalur kapal, mencegah tabrakan, dan meningkatkan keselamatan pelayaran (Lazarowska, 2020).



Gambar 9. 13. Implementasi Smart Sensor pada Smart Ships

(Sumber : Lazarowska, 2020)

Teknologi *smart sensor* dapat diimplementasikan untuk memantau pergerakan kapal. Sistem ini menggunakan beberapa jenis sensor, termasuk radar, *Automatic Identification System* (AIS), dan kamera, yang bekerja secara bersamaan (Wu et al., 2022). Dimana, radar digunakan untuk mendeteksi objek di sekitar kapal, AIS digunakan untuk memberikan informasi terkait identitas kapal, dan kamera memberikan visualisasi dari lingkungan sekitar. Integrasi data dari ketiga sensor ini dilakukan melalui algoritma deteksi dan pelacakan target. Secara signifikan, *smart sensor* mampu meningkatkan konsistensi informasi dan akurasi data pergerakan kapal di laut dibandingkan dengan sistem *sensing* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ADTELL Integration, 2022. *Smart Cities Infrastructure* -. ADTELL Integration. <https://adtellintegration.com/smart-cities-infrastructure/>
- Bakker, K., 2022. Smart Oceans: Artificial intelligence and marine protected area governance. *Earth System Governance*, 13, 100141. <https://doi.org/10.1016/J.ESG.2022.100141>
- Barodi, A., Zemmouri, A., Bajit, A., Benbrahim, M., & Tamtaoui, A., 2023. Intelligent Transportation System Based on Smart Soft-Sensors to Analyze Road Traffic and Assist Driver Behavior Applicable to Smart Cities. *Microprocessors and Microsystems*, 100, 104830. <https://doi.org/10.1016/J.MICPRO.2023.104830>
- Elprocus, 2021. *Smart Sensor : Block Diagram, Working, Types & Its Applications*. Elprocus. <https://www.elprocus.com/smart-sensor/>
- Fan, Y., Zhang, L., Li, D., & Wang, Z., 2023. Progress in self-powered, multi-parameter, micro sensor technologies for power metaverse and smart grids. *Nano Energy*, 118, 108959. <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2023.108959>
- Galar, D., & Kumar, U., 2017. Sensors and Data Acquisition. *EMaintenance*, 1–72. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811153-6.00001-4>
- Garrido-Momparler, V., & Peris, M., 2022. Smart sensors in environmental/water quality monitoring using IoT and cloud services. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 35, e00173. <https://doi.org/10.1016/J.TEAC.2022.E00173>

- Ha, N., Xu, K., Ren, G., Mitchell, A., & Ou, J. Z., 2020. Machine Learning-Enabled Smart Sensor Systems. *Advanced Intelligent Systems*, 2(9), 2000063. <https://doi.org/10.1002/AISY.202000063>
- Hautefeuille, M., 2013. Telecommunications reliability monitoring using wireless MEMS. *Handbook of Mems for Wireless and Mobile Applications*, 550–568. <https://doi.org/10.1533/9780857098610.2.550>
- Kishore Ramaiah, 2017. *Giving cars advanced vision through TI mmWave sensors - Automotive - Technical articles - TI E2E support forums*. Texas Instruments. https://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel/posts/giving-cars-advanced-vision-through-ti-mmwave-sensors
- Kumar, K., Bhaumik, S., & Tripathi, S. L., 2021. Health monitoring system. *Electronic Devices, Circuits, and Systems for Biomedical Applications: Challenges and Intelligent Approach*, 461–480. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85172-5.00018-6>
- Lazarowska, A., 2020. A discrete planning approach in collision avoidance for smart ships. *Procedia Computer Science*, 176, 380–389. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2020.08.039>
- Meijer, G. C. M., Wang, G., & Heidary, A., 2018. Smart temperature sensors and temperature sensor systems. *Smart Sensors and MEMS: Intelligent Sensing Devices and Microsystems for Industrial Applications: Second Edition*, 57–85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102055-5.00003-6>
- Morris, A. S., & Langari, R., 2012. Intelligent Devices. *Measurement and Instrumentation*, 265–289. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381960-4.00011-5>

- Morris, A. S., & Langari, R., 2021. Intelligent sensors. *Measurement and Instrumentation*, 323–348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817141-7.00011-6>
- Mukherjee, A., Panja, A. K., & Dey, N., 2020. Introduction to sensors and systems. *A Beginner's Guide to Data Agglomeration and Intelligent Sensing*, 1–27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820341-5.00001-1>
- Octopart, 2019. *24 and 77 GHz Automotive Radar Transceivers*. The Pulse.
- Rahman, M. S., Ghosh, T., Aurna, N. F., Kaiser, M. S., Anannya, M., & Hosen, A. S. M. S., 2023. Machine learning and internet of things in industry 4.0: A review. *Measurement: Sensors*, 28, 100822. <https://doi.org/10.1016/J.MEASEN.2023.100822>
- Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S., 2023. Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100776. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100776>
- Realpars, 2020. *Smart Sensor Explained | Different Types and Applications* - RealPars. <https://www.realpars.com/blog-post/smart-sensor>
- Tek Troniks, 2021. *Digital smart sensors for OEM and IoT applications*. Tek Troniks. <https://tek-troniks.com/smart-sensors/>
- Texas Instruments, 2021. *AWR1243 Single-Chip 77-and 79-GHz FMCW Transceiver*. www.ti.com
- Tsao, Y. C., & Vu, T. L., 2023. Determining an optimal sensor system for smart buildings with uncertain energy supply and demand. *Journal of Building Engineering*, 71, 106532. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106532>

- Ullo, S. L., & Sinha, G. R., 2020. Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors. *Sensors* 2020, Vol. 20, Page 3113, 20(11), 3113. <https://doi.org/10.3390/S20113113>
- Wu, Y., Chu, X., Deng, L., Lei, J., He, W., Królczyk, G., & Li, Z., 2022. A new multi-sensor fusion approach for integrated ship motion perception in inland waterways. *Measurement*, 200, 111630. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2022.111630>
- Xu, G., Shi, Y., Sun, X., & Shen, W., 2019. Internet of things in marine environment monitoring: A review. *Sensors (Switzerland)*, 19(7). <https://doi.org/10.3390/S19071711>
- Zhang, D., & Wei, B., 2020. Smart sensors and devices in artificial intelligence. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 20, pp. 1–4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20205945>

BAB 10

JARINGAN SENSOR WIRELESS

Oleh Muhammad Sainal Abidin

10.1 Pendahuluan

Dalam proses pengukuran, sebuah sensor harus ditempatkan pada lokasi/objek pengukuran yang tepat. Penempatan sensor yang tidak sesuai akan memberikan hasil pengukuran yang tidak akurat. Akan tetapi, dalam proses penempatannya terkadang sebuah sensor terkendala beberapa hal seperti durasi waktu pengukuran, lingkungan dan geografis lokasi pengukuran. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dapat dilakukan pengukuran jarak jauh yang memungkinkan data hasil pengukuran dapat dikirim dan diterima dari jarak yang jauh. Secara garis besar terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengirimkan hasil pengukuran tersebut yaitu mengirimkannya langsung menggunakan kabel dan tanpa kabel. Pengukuran dengan pengiriman menggunakan kabel memiliki keunggulan pengiriman yang stabil dikarenakan sinyal data langsung ditransmisikan pada kabel tanpa terpengaruh gangguan dari luar (Abidin & Suriyanto, 2020). Akan tetapi metode ini memiliki kekurangan yaitu pada penggunaan kabel yang membutuhkan instalasi khusus, batas penggunaan panjang kabel, dan sangat rawan untuk putus. Permasalahan kekurangan pada penggunaan kabel dapat diatasi dengan pengiriman data tanpa kabel atau lebih dikenal dengan *Wireless*. Penerapan sensor wireless atau biasa disebut dengan nama *Wireless Sensor Network*

(WSN) akan mempermudah proses pengiriman data sensor untuk proses pemantauan (Ikhsan dan Syafitri, 2021). Dengan pengiriman menggunakan metode ini memungkinkan data terkirim pada jangkauan yang jauh dengan instalasi yang sederhana. Meskipun disisi lain, metode ini sangat bergantung pada kondisi jaringan pengiriman data yang akan menentukan kecepatan pengiriman data. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengirimkan data pengukuran sensor secara *Wireless* baik yang bersifat *independent* maupun sistem yang bergantung pada bergantung pada sistem lain.

10.2 Topologi Jaringan Sensor Wireless

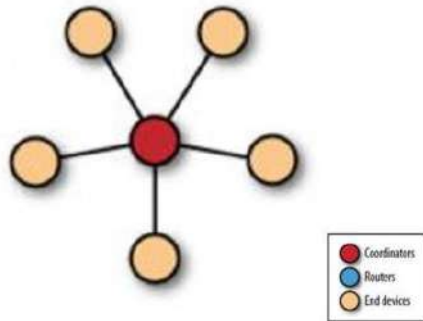
Dalam proses pengiriman data dari sensor, dibutuhkan beberapa sistem yang disebut dengan istilah “Node” yang saling berkomunikasi dalam proses pengiriman. Berikut penjelasan node yang digunakan:

- a. Node Sensor: merupakan node yang berfungsi untuk melakukan pengukuran pada lingkungan sesuai dengan besaran yang diukur. Node ini bisa dilengkapi dengan satu atau beberapa perangkat sensor.
- b. Node Router: merupakan node yang berfungsi untuk meneruskan data dari satu node ke node yang lain.
- c. Node Koordinator: merupakan node yang berfungsi untuk mengumpulkan data pengukuran dari node sensor kemudian meneruskan ke perangkat atau sistem lain (Nur Amalina dan Setijadi, 2016).

Node-node yang telah dijelaskan dapat dihubungkan dengan beberapa metode topologi sesuai dengan kebutuhan. Berikut topologi node yang dapat dilakukan:

- a. Topologi *Star*
Pada topologi ini terdapat sebuah sistem yang menjadi pusat yang bertindak sebagai server dengan semua node

sensor terhubung pada satu server. Pada Gambar 9. 14. merupakan Topologi *Star*

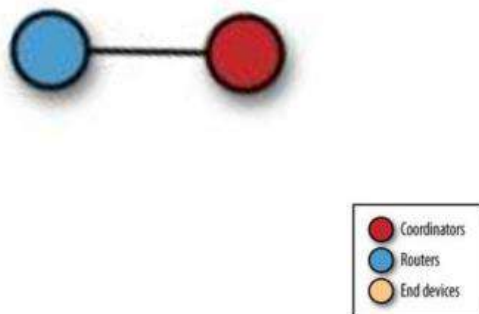


Gambar 10. 1. Topologi Star

(Wiratma, Munadi dan Mayasari, 2016)

b. Topologi *Peer to Peer*

Pada topologi ini, semua node bertindak sebagai server sekaligus client dan saling berbagi satu sama lain. Pada penerapannya, setiap node sensor ditempatkan pada lokasi tertentu lalu terhubung satu sama lain dengan setiap node sensor bertindak sebagai *Peer*. Pada **Error! Reference source not found.** merupakan Topologi *Peer to Peer*

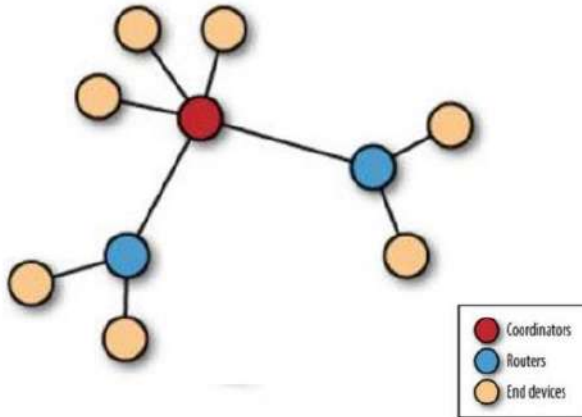


Gambar 10. 2. Topologi Peer to Peer

(Wiratma, Munadi dan Mayasari, 2016)

c. Topologi Tree

PaVda topologi ini terdapat tingkatan di dalamnya yang menggunakan koneksi topologi *Peer to Peer*. Tingkatan tertinggi akan menjadi pusat dari level di bawahnya dan begitu seterusnya (Adolfo dan Budi, 2023). Pada **Error! R eference source not found.** merupakan Topologi *Tree*.

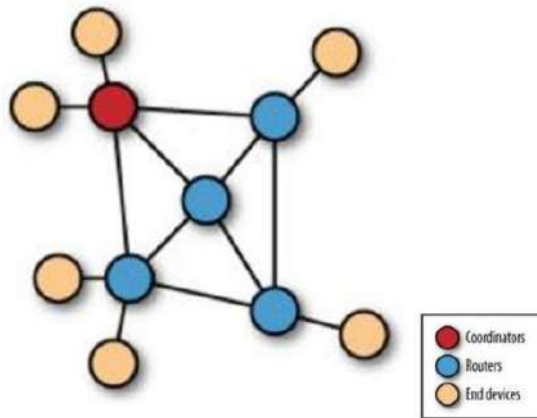


Gambar 10. 3. Topologi Tree

(Wiratma, Munadi dan Mayasari, 2016)

d. Topologi *Mesh*

Topologi ini menghubungkan semua sistem secara penuh. Pada hampir semua teknologi Wireless Network menggunakan Topologi Mesh. Topologi Mesh dibedakan menjadi Topologi *Mesh Full* dan Topologi *Mesh Partial*. Topologi *Mesh Full* menampilkan kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Topologi *Mesh Partial*, dimana semua sistem saling terhubung satu sama lain. Sedangkan pada Topologi *Mesh Partial*, hanya beberapa saja yang saling terhubung. Dengan demikian, maka terdapat beberapa jalur yang bisa dipilih untuk mengirimkan pesan atau paket data menuju sistem tujuan dari sistem asal. Pada **Error! R eference source not found.** merupakan Topologi *mesh*.



Gambar 10. 4. Topologi Mesh

(Wiratma, Munadi dan Mayasari, 2016)

10.3 Jenis-Jenis modul Sensor *Wireless*

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengiriman data sensor secara *Wireless*. Setiap metode pengiriman memiliki kelebihan dan kekurangan baik dari jangkauan jarak, jenis komunikasi, dan jenis jaringan yang digunakan. Berikut adalah penjelasan dari metode tersebut.

10.3.1 Infra Merah (IR)

Infra merah merupakan salah satu pembagian dari gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 700nm – 1nm sehingga menjadikannya sinar yang tidak dapat dilihat oleh mata. Berdasarkan panjang gelombangnya, Infra merah dapat diklasifikasikan menjadi tidak menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Infra merah jarak jauh dengan panjang gelombang 10 μ m-100 μ m.
2. Infra merah jarak menengah dengan panjang gelombang 1,5 μ m-10 μ m.
3. Infra merah jarak jauh dengan panjang gelombang 0,75 μ m-1,5 μ m.

Gelombang elektromagnet ini dapat dimanfaatkan dalam proses pengiriman data pengnukuran dari sebuah sensor. Dalam penerapan jaringan sensor *Wareless*, sumber cahaya infra merah berpasangan dengan detektor infra merah untuk melakukan proses pengiriman data. Salah satu penerapan sering dijumpai adalah pada remot peralatan elektronika seperti TV, AC dan kipas angin. Pada peralatan sejenis ini, infra merah dihasilkan dari LED (Light Emitting Diode) merah digunakan untuk mengirimkan kode data yang bervariasi bergantung pada tombol remot yang ditekan dan diterima oleh detektor infra merah.



Gambar 10. 5. LED Infra Merah

(Abidin dan Kasih, 2020)

Sebagai contoh pada TV, data yang dikirimkan dari remot akan diterima oleh detektor infra merah dan diterjemahkan oleh sistem kontrol alat untuk melakukan perintah oleh pengguna melalui remot. Kode dari setiap tombol akan diklasifikasikan sesuai dengan perintah yang diinginkan seperti mengubah volume suara dan mengganti *channel* siaran televisi.



Gambar 10. 6. Detektor Infra Merah

(Abidin dan Kasih, 2020)

Metode pengiriman ini memiliki kelebihan dan kekurangan, berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan pengiriman data menggunakan infra merah.

- a. Kekurangan
 - 1. Rangkaian elektronika yang sederhana
 - 2. Pengiriman tidak bergantung pada sistem lain
- b. Kelebihan
 - 1. Jangkauan pengiriman yang pendek. Tidak lebih dari 5 meter bergantung dari intensitas cahaya infra merah yang dipancarkan
 - 2. Posisi sumber cahaya infra merah dan detektor harus saling berhadapan tanpa adanya penghalang.
 - 3. Pengiriman data hanya bisa dilakukan dalam satu arah yakni dari sumber cahaya menuju detektor tanpa bisa melakukan pengiriman pada arah sebaliknya.

10.3.2 Bluetooth

Bluetooth merupakan salah satu teknologi komunikasi wireless yang berdasarkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi 2,4 GHz. Pada perkembangannya, teknologi bluetooth banyak diterapkan pada peralatan elektronika saat ini. Dengan teknologi ini, memungkinkan suatu perangkat elektronik dapat terhubung dengan perangkat lainnya secara *Wireless* baik untuk keperluan pengontrolan maupun saling bertukar data. Sebagai contoh pada mouse komputer yang saat ini telah banyak yang menerapkan teknologi bluetooth, smartphone yang memungkinkan melakukan pertukaran data dengan perangkat lain seperti laptop, smartwatch, speaker, mp3 player dan lain-lain (Abidin, Kasih dan Zulfadlih, 2022).



Gambar 10. 7. Logo Bluetooth

(Abidin, Kasih dan Zulfadlih, 2022)

Meskipun jangkauan jarak pengiriman bluetooth maksimum $\pm 10\text{m}$, namun tidak sama dengan IR, bluetooth mampu menembus dinding penghalang sehingga pengiriman data dapat dilakukan meskipun berbeda ruangan. Selain itu, pengiriman data juga dapat dilakukan dengan dua arah yang berarti dua peralatan yang terhubung dapat saling bertukar data satu sama lain.

Pada pengaplikasiannya dalam sistem sensor, pengiriman data juga dapat dilakukan menggunakan bluetooth dengan demikian data hasil pengukuran dapat dikirimkan pada peralatan lain seperti smartphone, komputer ataupun peralatan lain yang menggunakan bluetooth. Salah satu modul bluetooth yang dapat digunakan untuk mengembangkan sistem sensor *Wireless* adalah modul bluetooth HC-06.



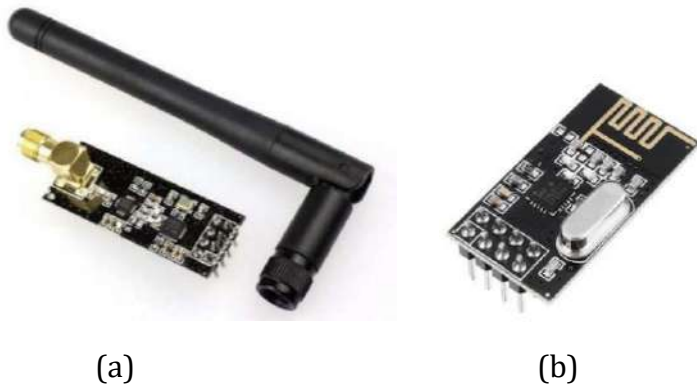
Gambar 10. 8. Modul Bluetooth HC-06

(Abidin, Kasih dan Zulfadlih, 2022)

Modul ini dapat dihubungkan pada sistem sensor dengan bantuan mikrokontroler lewat jalur komunikasi serial.

10.3.3 Modul NRF24L01

Modul NRF24L01 merupakan modul pengiriman wireless pada frekuensi 2,4 GHz dengan komunikasi SPI (Serial Peripheral Interface). Modul ini merupakan jenis modul Transreceiver yang artinya 1 modul ini dapat bertindak sebagai pengirim dan sekaligus sebagai penerima. Terdapat 2 jenis modul NRF24L01 yang beredar dipasaran yaitu modul dengan antenna eksternal dan tanpa antenna eksternal (Abidin dan Suriyanto, 2020).

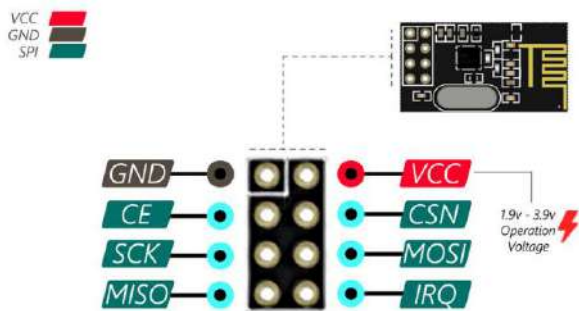


Gambar 10. 9. NRF24L01 (a) dengan antenna eksternal, (b) tanpa antenna eksternal

(Septiano dan Ghozali, 2020)

Buku ini memiliki jangkauan pengiriman data yang cukup jauh. Untuk modul dengan dengan antenna eksternal mampu mengirimkan data hingga 1 km sedangkan untuk yang tanpa antenna hanya sampai 250meter untuk daerah terbuka. Jarak pengiriman akan berkurang bergantung banyaknya penghalang. Berbeda dengan kebanyakan modul yang bekerja pada tegangan 5v, modul ini bekerja pada tegangan 3,3v dengan 5 pin jalur data.

Error! Reference source not found. memperlihatkan konfigurasi pin NRF24L01.



Gambar 10. 10. Konfigurasi pin NRF24L01

(Septiano dan Ghozali, 2020)

10.3.4. Jaringan GSM

Global System for Mobile Communications atau dikenal dengan istilah GSM merupakan istilah yang sering didengar pada teknologi komunikasi telepon seluler. Penerapan teknolgi GSM pada telepon memungkinkan pengguna untuk dpat berkomunikasi dengan jarak yang sangat jauh. Untuk dapat menggunakan jaringan GSM sebuah alat komikasi seperti handpone (HP) harus terpasang sebuah kartu khusus yang menghubungkannya pada jaringan penyedia layanan (Rahajeng dkk., 2020). Salah satu fitur yang dikenal dari komunikasi ini adalah pengiriman pesan singkat atau dikenal dengan istilah SMS (*Short Message Service*). Pada perkembangannya, teknologi GPS dapat diterapkan pada pengiriman data pengukuran sensor secara *Wireless*. Namun, metode pengiriman data menggunakan metode SMS memiliki kekurangan pada pengriman data yang tidak *Real Time*. Tidak seperti pengiriman data pada bluetooth atupun NRF24L01 yang hasil pengukuran akan terkirim secara terus-menerus, pada metode SMS data hanya akan diterima saat pesan dikirimkan dan membutuhkan biaya (pulsa) yang harus dibayarkan pada penyedia layanan. Akan tetapi dengan pengiriman berbasis SMS, pengiriman bisa dilakukan secara global tanpa ada batasan jarak selama

masih terdapat jaringan GSM. Untuk dapat menggunakan metode pengiriman data ini dapat menggunakan modul GSM SIM800 meskipun masih terdapat beberapa jenis modul lainnya yang dapat digunakan sebagai alternatif. Gambar 9.11 adalah betuk fisika dari modul sim800



Gambar 10. 11. Modul SIM800

(Hermawan, Ichsan dan Budi, 2021)

10.3.5 IoT (Internet of Things)

Perkembangan teknologi pada bidang internet yang begitu pesat, memudahkan kita dalam bertukar informasi tanpa batasan jarak. Pertukaran informasi yang terjadi tidak hanya antar sesama manusia namu juga antar manusia dan mesin ataupun antar sesama mesin. Prinsip inilah yang diterapkan dala IoT (Sasmoko, Nur Afifah dan Iman Saufik, 2021). Dengan jaringan IoT, suatu peralatan dapat terhubung dan dikendalikan secara *Real Time* pada jarak yang jauh yang merupakan kelemahan dari sistem GSM. Sistem IoT membutuhkan jaringan internet yang dapat bersumber dari WIFI, LAN, ataupun jaringan internet yang terpasang langsung pada alat. Pada sistem sensor, telah banyak diterapkan metode IoT dalam proses pengendalian dan pengiriman data. Untuk dapat membangun sistem berbasis IoT dapat menggunakan suautu mikrkokontroler yang telah dilengkapi dengan modul WIFI agar dapat memperoleh jaringan

internet. Modul yang dapat digunakan seperti Node MCU ESP8266.

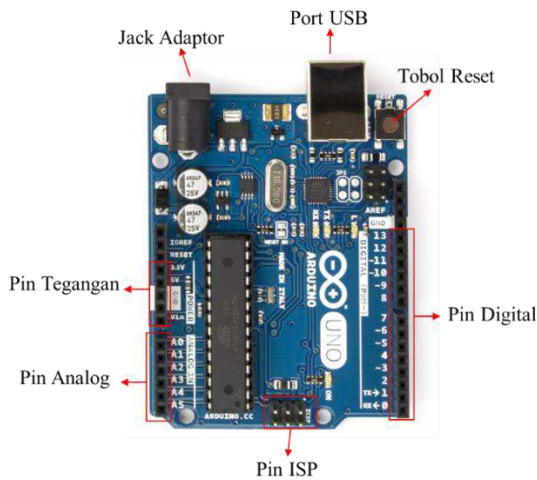


Gambar 10. 12. Node MCU ESP8266

(Samsugi1, Ardiansyah dan Kastutara, 2017)

10.4 Board Arduino

Telah dijelaskan sebelumnya, suatu sistem sensor yang berbasis digital tidak bisa dilepaskan dari sistem kontroler. Sistem kontroler yang sering digunakan dalam penerapan sistem sensor berbasis *Wireless* salah satunya adalah board mikrokontroler Arduino. Arduino sendiri merupakan salah satu brand yang memproduksi board mikrokontroler yang bersifat *Open Source*. Dengan board ini, kita dapat menghubungkan berbagai jenis sensor dengan berbagai macam metode pengiriman data. Terdapat berbagai macam jenis arduino yang beredar dipasaran yang dapat digunakan sesuai kebutuhan. Namun untuk kebutuhan dalam pengaplikasian sensor dengan jaringan *wireless* pembahasan akan difokuskan pada board Aduino Uno.



Gambar 10. 13. Board Arduino Uno

(Mahfud *dkk*, 2023)

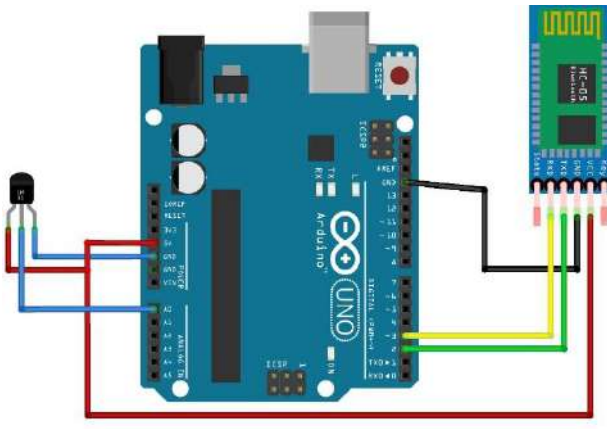
Board arduino jenis ini, sangat banyak digunakan dalam proses pembelajaran karena desain bentuknya memudahkan dalam proses merangkaian komponen-komponen yang digunakan. Sedangkan untuk pengaplikasiannya pada suatu alat dapat menggunakan jenis board Arduino lain yang memiliki bentuk dan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan.

10.5 Aplikasi Jaringan Sensor Wireless

10.5.1 Sensor LM35 berbasis Bluetooth

LM35 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang termasuk dalam jenis IC sehingga membutuhkan tegangan kerja pada rentang 4 - 30v. Sensor ini memiliki keluaran dalam besaran tegangan dengan rentang pengukuran -55°C hingga $+150^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi $0,5^{\circ}\text{C}$ pada pengukuran $+25^{\circ}\text{C}$. Tegangan luarannya linear terhadap suhu pengukuran dengan perubahan = $+10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. karena luaran dari sensor ini dalam bentuk analog, maka dalam proses pembacaan data menggunakan

mikrokontroler, sensor harus terhubung pada pin Analog. Sedangkan untuk modul Bluetooth yang digunakan adalah jenis HC-05 yang terhubung dengan komunikasi secara serial. Karena board arduino menggunakan jalur komunikasi pada proses pengisian program, maka untuk koneksi pada Bluetooth dapat menggunakan software serial pada arduino dalam hal ini digunakan pada pin digital 2 dan 3.



Gambar 10. 14. Skematik Rangkaian Pengiriman Data Suhu Dengan Bluetooth

(Sumber: Frirzing)

Setelah membuat rangkaian seperti **Error! Reference source not found.** masukkan program berikut pada board Arduino.

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial (2, 3); //Rx Tx

int temp;

float suhu;

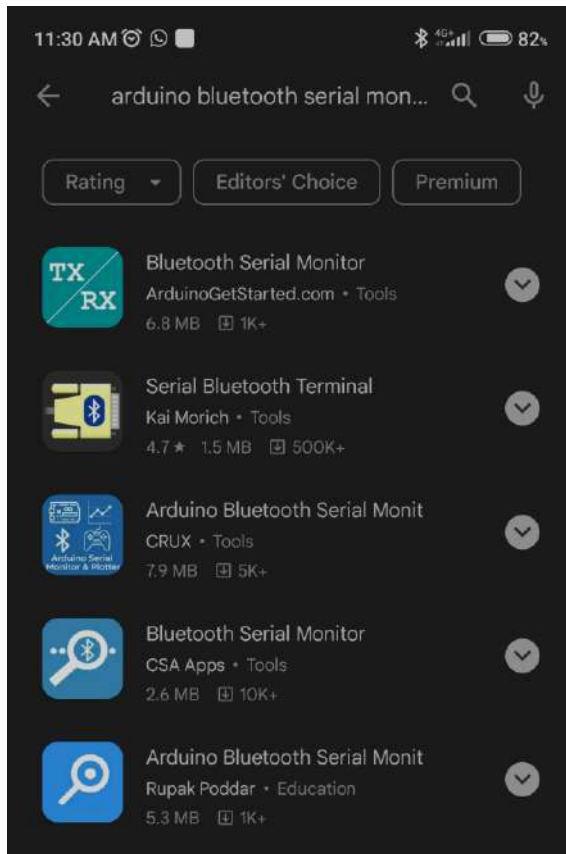
void setup() {

    mySerial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() {  
    temp = analogRead (A0);  
    suhu = temp * 5.0 * 100 / 1023;  
    mySerial.print ("Temperatur: ");  
    mySerial.println (suhu);  
    delay (1000);  
}
```

Download aplikasi serial Bluetooth pada Play Store dan lakukan pemasangan (pairing) antara HP ke modul Bluetooth. Terdapat beberapa aplikasi serial Bluetooth yang dapat didownload (**Error! Reference source not found.**). Pada settingan defaultnya, HC-05 memiliki password 1234 atau 0000. Setelah terhubung, maka hasil pengukuran suhu dari LM35 akan tertampil pada aplikasi serial monitor HP. Untuk pengembangan lebih lanjut, aplikasi serial Bluetooth dapat dibuat dengan tampilan dan fitur yang lebih baik.

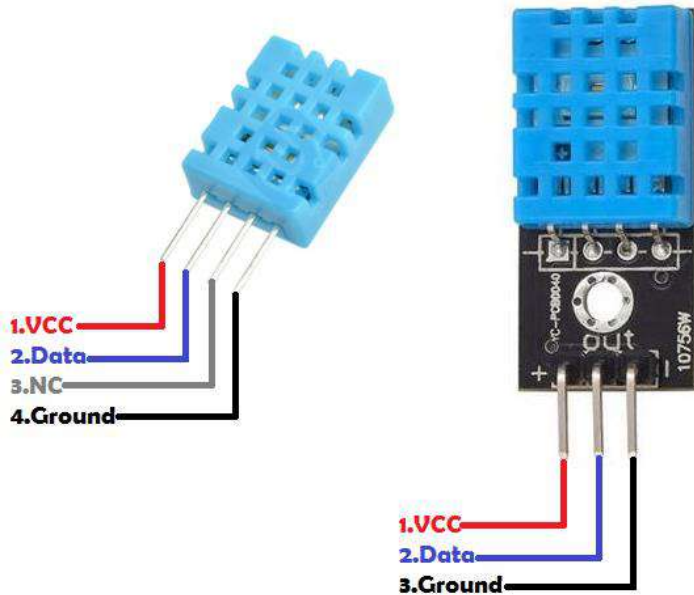


Gambar 10. 15. Aplikasi Serial Bluetooth Pada Playstore
(Sumber: Palystore)

10.5.2 DHT11 berbasis NRF24L01

DHT11 merupakan sensor digital yang dapat mengukur dua besaran sekaligus yaitu suhu dan kelembapan. Pada sensor ini terdapat sebuah tjemistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk mengukur suhu dan sebuah sensor kelembapan dengan karakteristik resistif terhadap perubahan kadar air di udara serta chip yang mengkonversi data analog mejadi digital dan mengeluarkan output dengan format *Single-Wire Bi-Directional* (kabel tunggal dua arah). Dengan demikian

meskipun dapat melakukan pengukuran untuk dua besaran namun jalur data (kabel) hanya menggunakan satu jalur saja.



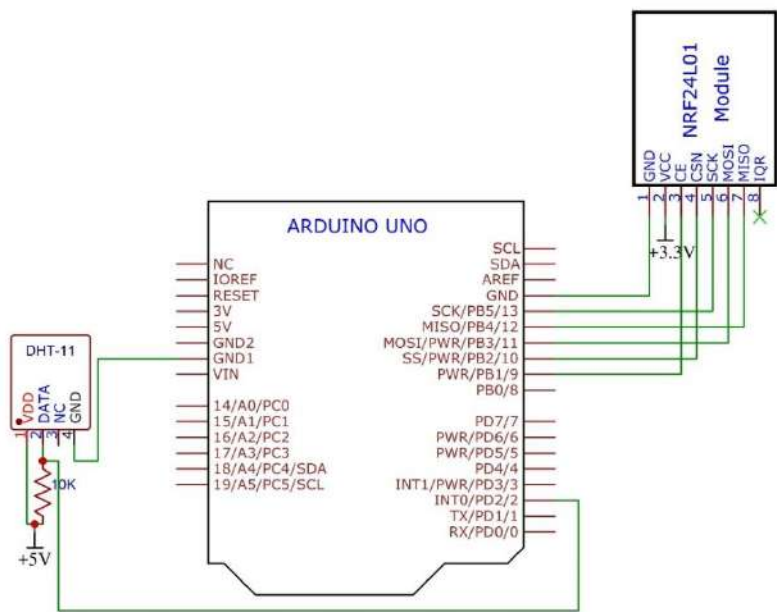
Gambar 10. 16. DHT11

(Firnandes dan Risandriya, 2017)

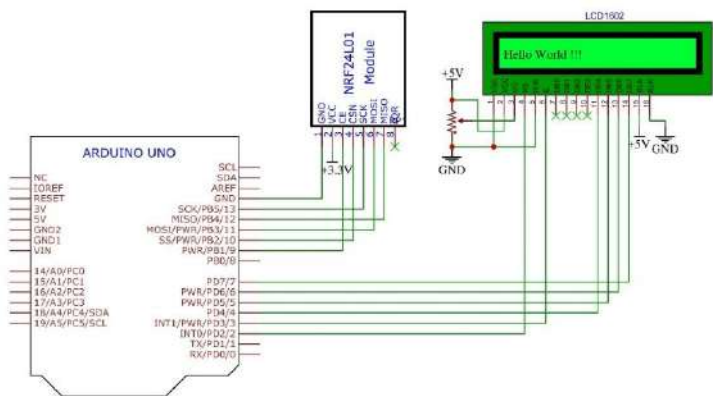
Di pasaran terdapat 2 jenis DHT11 yang beredar, yaitu DHT11 dengan PCB Breakout dan tanpa PCB breakout. Untuk yang tanpa PCB, maka diperlukan tambah sebuah resistor Pull Up pada jalur data yang terhubung dengan Vcc. Sedangkan untuk jenis dengan PCB breakout, resistor Pull Up sudah terpasang pada PCB tersebut. Untuk membaca data sensor ini dapat menggunakan board Arduino yang terhubung pada pin digital ataupun pin analog.

Untuk pengiriman data suhu dan kelembapan akan menggunakan modul NRF24L01. Modul ini terhubung menggunakan jalur SPI pada arduino dengan sumber tegangan 3,3v. proses pengiriman data menggunakan komunikasi satu arah, sehingga ada sistem yang bertindak sebagai pengirim

(transmitter) dan ada yang bertindak sebagai penerima (Receiver). Berikut skematik rangkaian kedua sistem tersebut.



Gambar 10. 17. Skematik Rangkaian Pengirim
(Sumber: EasyEDA)



Gambar 10. 18. Skematik Rangkaian Penerima

Pada sistem pengiriman data terdapat sensor DHT11 yang berfungsi untuk melakukan pengukuran suhu dan kelembapan. Data yang telah terukur kemudian dikirim menggunakan modul NRF24L01. Data tersebut kemudian diterima pada sistem penerima dan ditampilkan pada LCD karakter 16x2. Agar kedua sistem dapat melakukan proses pengukuran dan pertukaran data, maka kedua sistem terlebih dahulu diprogram. Berikut program yang digunakan :

Program pada sistem pengirim

```
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 2    // pin data DHT11

#define DHTTYPE DHT11

DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);

#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

const uint64_t pipeOut = 0x1234; // kode alamat

RF24 radio (9, 10); // CE, CSN

float s, h;

struct MyData {

    float suhu;

    float kelembapan;

};

MyData data;

void resetData() {
```

```

data.suhu = 0;
data.kelembapan = 0;
}

void setup() {
  dht.begin();
  radio.begin();
  radio.setAutoAck(false);
  radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
  radio.openWritingPipe(pipeOut);
  resetData();

  // put your setup code here, to run once:

}

void loop() {
  data.kelembapan = dht.readHumidity();
  data.suhu = dht.readTemperature();
  radio.write(&data, sizeof(MyData));
  delay (1000);

  // put your main code here, to run repeatedly:

}

```

Program penerima

```

#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

const uint64_t pipeIn = 0x1222; // kode alamat
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN


#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7); // pin LCD


struct MyData {
    float suhu;
    float kelembapan;
};

MyData data;

void resetData() {
    data.suhu = 0;
    data.kelembapan = 0;
}

void setup() {
    lcd.begin(16, 2);
    radio.begin();
    resetData();
    radio.setDataRate(RF24_250KBPS);

```

```

radio.setAutoAck(false);
radio.openReadingPipe(1, pipeIn);
radio.startListening();
// put your setup code here, to run once:

}

unsigned long lastRecvTime = 0;
void recvData()
{
    while ( radio.available() ) {
        radio.read(&data, sizeof(MyData));
        lastRecvTime = millis();
    }
}

void loop() {
    recvData();
    unsigned long now = millis();
    if ( now - lastRecvTime > 1000 ) {
        resetData();
    }
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.print ("Suhu:"); lcd.print (data.suhu);
    lcd.setCursor (0, 1);

```

```
lcd.print ("Hum :"); lcd.print (data.kelembapan);  
delay (1000);  
// put your main code here, to run repeatedly:  
}
```

Untuk dapat melakukan pemrogram DHT11 dan NRF23L01 terlebih dahulu lakukan penambahan library dari kedua komponen ini. Kedua program ini dapat terhubung sesuai dengan kode alamat yang masukkan, dengan demikian tidak akan terjadi kesalahan pengiriman data dengan sistem lain yang juga menggunakan modul NRF24L01. Data hasil pengukuran akan terkirim dan tertampil pada LCD dengan periode setiap 1 detik.

10.2.3 DS18B20 Berbasis IoT

DS18B20 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang cukup banyak digunakan, berbeda dengan sensor LM35 yang memiliki data luaran berupa data analog, sensor ini memiliki data luaran digital. Selain itu, sensor ini juga dilengkapi dengan pelindung anti air sehingga dapat digunakan untuk pengukuran pada cairan (Sasmoko, Nur Afifah dan Iman Saufik, 2021).



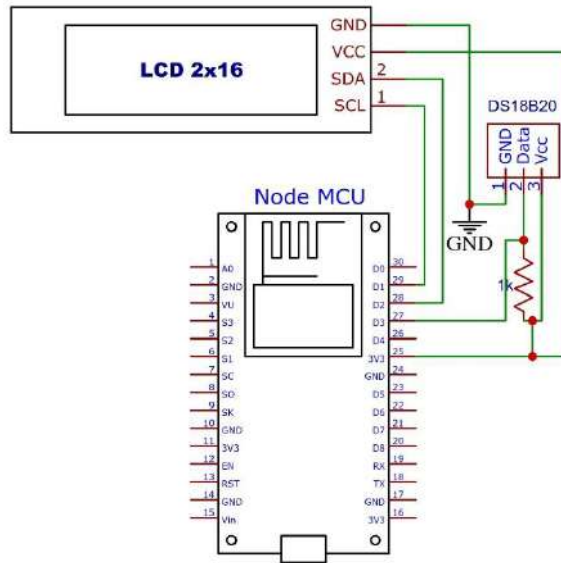
Gambar 10. 19. Sensor Suhu DS18B20
(Ikhsan dan Syafitri, 2021)

Spesifikasi:

1. Vcc 3 – 5,5 volt
2. Menggunakan jalur komunikasi 1 wire
3. Range pengukuran dari -55°C sampai +125°C
4. Akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentan -10°C sampai +85°C

Pada pengapliaksiannya, sensor ini juga membutuhkan sebuah resistor pull up yang terpasangan antara pin data dengan Tegangan 5v (**Error! Reference source not found.**).

Pada penjelasan sebelunya, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengiriman data. Namun, metode yang digunakan masih dibatasi oleh jangkauan jarak pengiriman. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa dengan menggunakan metode IoT, pengiriman data sensor dapat dilakukan secara global ke seluruh beahan dunia selama masih terjangkau oleh jaringan internet. Untuk melakukan pengiriman data berbasis IoT, maka digunakan board Node MCU ESP8266 sebagai sistem kontrolernya. Berikut skematik rangkaian antara DS18B20 dengan board Node MCU ESP8266 serta LCD 16x2 untuk menampilkan data secara *Offline*.



Gambar 10. 20. Skematik Rangkaian Node MCU dengan DS18B20
(sumber: EasyEDA)

Pengiriman data yang dilakukan dapat diterima dan ditampilkan pada computer ataupun smartphone. Dengan demikian, maka dibutuhkan suatu aplikasi khusus sebagai media dalam menampilkan data tersebut. Terdapat beberapa aplikasi yang dapat digunakan yang bersifat *Open Source* dan gratis untuk melakukan pengiriman data berbasis IoT seperti Blynk, Thingspeak, Thinger.io, Firebase dan Ubidots. Pada penjelasan kali ini, akan menggunakan aplikasi blynk yang secara penggunaan lebih sederhana dengan tampilan yang menarik.

Aplikasi blynk ini dapat diakses menggunakan computer dan sudah tersedia untuk aplikasi android pada Playstore. Untuk dapat menggunakan aplikasi blynk, maka terlebih dahulu dilakukan pendaftaran akun pada link blynk.cloud dengan menggunakan akun gmail. Dengan akun yang telah dibuat, maka hasil pengukuran dapat diterima baik menggunakan komputer/laptop dan smartphone android.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, M.S. dan Kasih, R.U. (2020) "Sistem Penghitung Jumlah Putaran Lari Pada Tes Kesamaptaan Jasmani (TKJ)," Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Poltekkes Surabaya, hal. 1–6.
- Abidin, M.S., Kasih, R.U. dan Zulfadlih, L.O.S. (2022) "Helm Pintar Untuk Pemantauan Kadar Karbon Monoksida (Co) Dan Tingkat Kebisingan Suara Pada Daerah Industri Dan Pertambangan," *Sebatik*, 26(2), hal. 502–508. Tersedia pada: <https://doi.org/10.46984/sebatik.v26i2.2042>.
- Abidin, M.S. dan Surianto, T. (2020) Laporan Akhir Penelitian Dosen Universitas Mandala Waluya Kalkulator Indeks Massa Tubuh (IMT). Kendari.
- Adolfo, V. dan Budi, A.S. (2023) "Perancangan Sistem Deteksi Node Baru Otomatis dalam Basis ESP-NOW dengan Tree Topology WSN," 7(5), hal. 2475–2480.
- Firnandes, T. dan Risandriya, S.K. (2017) "Aplikasi Wireless Sensor Network (WSN) Berbasis Radio Frequency (RF) dan SMS Alert GSM," 5(March 2013), hal. 1–8.
- Hermawan, H., Ichsan, M.H.H. dan Budi, A.S. (2021) "Rancang Bangun Sistem Keamanan Anak berbasis Modul GSM menggunakan Protokol HTTP," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* [Preprint].
- Ikhsan, R.N. dan Syafitri, N. (2021) "Pemanfaatan Sensor Suhu DS18B20 sebagai Penstabil Suhu Air Budidaya Ikan Hias," Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi, dan Otomasi, hal. 18–26.
- Mahfud, A. dkk. (2023) "Prototype Sistem Penimbangan Otomatis Pada Model," 15(1), hal. 43–50.
- Nur Amalina, E. dan Setijadi, E. (2016) "Desain Topologi Komunikasi Wireless Sensor Network (Wsn) Pada Aplikasi Sistem Structural Health Monitoring (Shm) Jembatan,"

Jurnal Ilmu Komputer dan DKV, 1(1), hal. 2541–4585.

- Rahajeng, A.S. dkk. (2020) “Pemanfaatan modul gsm dan modul gps pada Sistem keamanan sepeda motor menggunakan Smartphone berbasis arduinouno,” JURNAL TEKNOLOGI DAN OPEN SOURCE [Preprint].
- Samsugi¹, Ardiansyah dan Kastutara, D. (2017) “INTERNET OF THINGS (IOT): Sistem Kendali Jarak Jauh Berbasis Arduino Dan Modul Wifi Esp8266,” Prosiding Seminar Nasional XII “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi [Preprint].
- Sasmoko, D., Nur Afifah dan Iman Saufik (2021) “Pengukura Suhu dengan Ir MLX90614 dan NoDeMCU dan Membandingkan dengan Ds18B20 untuk pencegahan Covid 19,” Elkom : Jurnal Elektronika dan Komputer, 14(2), hal. 256–260. Tersedia pada: <https://doi.org/10.51903/elkom.v14i2.523>.
- Septiano, A. dan Ghozali, T. (2020) “Nrf 24L01 Sebagai Pemancar/Penerima Untuk Wireless Sensor Netwok,” Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Elektrical Engineering and Industrial Engineering), 17(April), hal. 26–34.
- Wiratma, A.B., Munadi, R. dan Mayasari, R. (2016) “Implementasi dan Analisis Jaringan Sensor Nirkabel Sebagai Alat Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas Elpiji Menggunakan Topologi Cluster Tree Dengan 7 Titik,” E-Proceeding of Engineering, 3(2), hal. 1779–1786.

BIODATA PENULIS



S. Nurmuslimah

Dosen Jurusan Teknik Informatika

Penulis lahir di Bima tanggal 01 Juli 1971. Penulis adalah Dosen Tetap Pada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro dan melanjutkan S2 Pada Jurusan Sistem Jaringan Cerdas Multimedia ITS. Penulis Menekuni Bidang AI dan Jaringan Cerdas Multimedia.

BIODATA PENULIS



Mohamad Rifal, ST., MT

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Gorontalo

Penulis lahir di Moutong Sulawesi Tengah tanggal 21 Maret 1990. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin di Universitas Gorontalo dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin dengan Konsentrasi Energi di Universitas Diponegoro Semarang. Penulis mulai tertarik dengan dunia elektronika semenjak mengambil S2. Dan ketika mengajar, salah satu matakuliah yang di ampuh oleh penulis adalah Mekatronika. Selain mengajar, penulis menekuni bidang penelitian yang berfokus pada konversi dan konservasi energy.

BIODATA PENULIS



Fahmy Rinanda Saputri, S.T., M.Eng.

Dosen Program Studi Teknik Fisika

Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Multimedia
Nusantara

Penulis lahir pada bulan Agustus 1993 di Cilacap. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Multimedia Nusantara. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan studi pada Program Magister Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang instrumentasi, fisika bangunan, dan energi baru terbarukan.

BIODATA PENULIS



Rismen Sinambela

Dosen Pascasarjana Program Magister
Teknik Universitas Kristen Indonesia

Penulis adalah dosen pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia. Menyelesaikan kuliah S3 pada tahun 2020 di bidang Ilmu Keteknik Pertanian di IPB. telah menulis beberapa makalah konferensi di berbagai jurnal nasional dan internasional bereputasi. Saat ini dipercaya menjadi reviewer di jurnal nasional Konversi Energi dan Manufaktur dan juga jurnal internasional Control Science and Engineering. Minat penelitian meliputi pengembangan sensor, pengukuran non destruktif, dan Ilmu Keteknikan Pertanian.

BIODATA PENULIS



Desak ketut Sutiari, S.Si, M.Si.

Dosen Program Studi D-III Teknologi Elektro-Medis
Fakultas Sains dan Teknologi

Penulis lahir di Welala tanggal 26 Juli 2023. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-III Teknologi Elektro-Medis Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Mandala Waluya. Salah satu mata kuliah yang diampu adalah Sensor dan Transduser. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika konsentrasi Instrumentasi dan melanjutkan S2 Fisika konsentrasi Material dan Energi di Universitas Halu Oleo.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Usman Umar, ST. MT.

Dosen Program Studi Teknologi Elektro-medis
Politeknik Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Libureng, Bone tanggal 18 Oktober 1972. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Program Studi Teknologi Elektro-medis, Politeknik Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Ujung Pandang, melanjutkan S1 pada Jurusan Teknik Elektro. kemudian melanjutkan S2 pada program studi Teknik Industri, mengambil profesi Insinyur pada Program Profesi Insinyur dan melanjutkan program Dokktor S3 pada program studi Teknik Elektro. Penulis menekuni penelitian dan menulis artikel.

Penulis sebelum menjadi Dosen tetap terlebih dahulu bekerja di beberapa industri PMA dan PMDN diantaranya di perusahaan produsen tepung terigu PT. Eastern Pearl Flour Mills Makassar, PT. Cerestar Flour Mills di Cilegon Banten, PT. Lumbung Nasional Flour Mills Di Cibitung Jawa Barat, pada perusahaan Beverage yaitu PT. Tirta Fresindo Jaya (PT. Mayora Group), Perusahaan Retail sebagai Pengelola Mall di Mall GTC Makassar Lippo Mall group.

Saat ini aktif dalam organisasi yaitu APINDO Makassar, Persyarikatan Muhammadiyah dan Organisasi Persatuan Dosen.

BIODATA PENULIS



Zainal Abidin

Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam
Lamongan Jawa Timur Indonesia

Penulis lahir di Pekalongan, Jawa Tengah. Pendidikan : S1 Teknik Elektro Universitas Islam Malang, S2 Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, S3 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Saat ini mengajar di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Lamongan Jawa Timur Indonesia , Instruktur K3 Teknisi Tenaga Listrik PT. Nusantara Traisser, Anggota TPA bidang Mechanical Electrical Plumbing (MEP) Dinas Perumahan dan Pemukiman Kabupaten Lamongan dan Peneliti di Litbang Pemas Universitas Islam Lamongan.

BIODATA PENULIS



La Ode Hasnuddin S. Sagala., S.Si., M.Cs

Dosen Program Studi Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi Universitas Sembilanbelas
November Kolaka

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 06 Juli 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sistem Informasi Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika Universitas Halu Oleo dengan mengambil konsentrasi instrumentasi & komputasi serta melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Komputer & Elektronika konsentrasi sistem cerdas.

Saat ini penulis selalu mengampuh mata kuliah pemrograman dan elektronika pada beberapa kampus di Sulawesi Tenggara. Motto penulis adalah Man Jadda Wajada.

BIODATA PENULIS



Dwi Sasmita Aji Pambudi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)

Penulis lahir di Lumajang tanggal 21 April 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro di Universitas Telkom, Bandung pada tahun 2013 dan melanjutkan jenjang S2 pada Jurusan Teknik Elektro, Bidang Keahlian Elektronika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya pada tahun 2018. Penulis mulai menekuni bidang menulis sejak awal menjadi dosen di tahun 2019. Ketertarikan bidang penelitiannya adalah elektronika industri, elektronika kontrol cerdas, elektronika daya, elektronika navigasi, *Internet of Things* (IoT), Energi Baru Terbarukan (EBT), sistem kelistrikan dan elektronika kapal. Dalam mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis terus berupaya aktif dalam melakukan penelitian, pengabdian masyarakat, dan menulis baik dalam bentuk jurnal nasional maupun internasional.

BIODATA PENULIS



Muhammad Sainal Abidin, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi D-III teknologi elektro-medis
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Mandala Waluya

Penulis lahir di Kendari tanggal 16 Desember 1987. Penulis adalah dosen program studi D-III teknologi Elektro-Medis Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Mandala Waluya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fisika MIIPA Universitas Haluoleo dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung dengan Kelompok Keahlian Fisika Instrumentasi. Penulis menekuni bidang instrumentasi dengan penelitian berfokus pada pengembangan alat kesehatan.