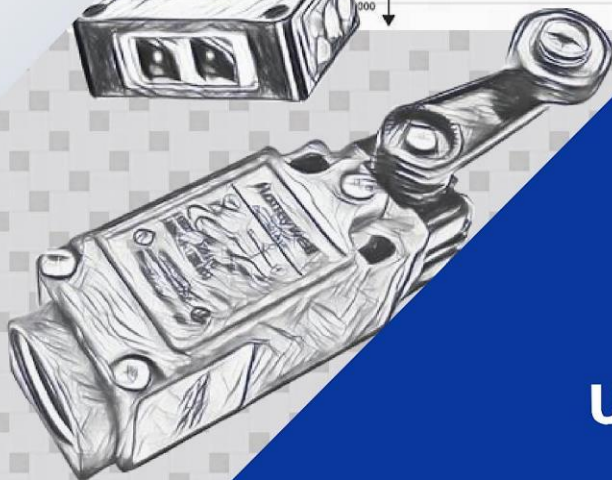
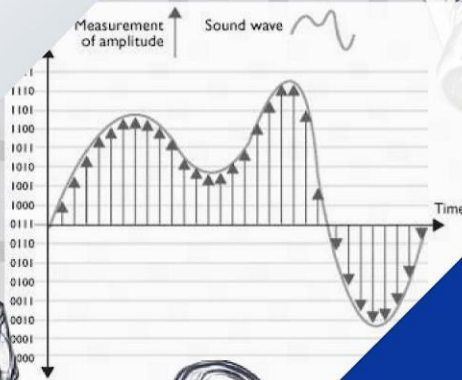
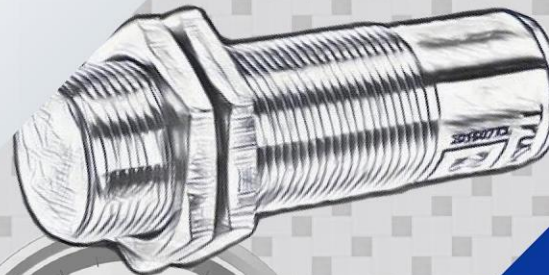
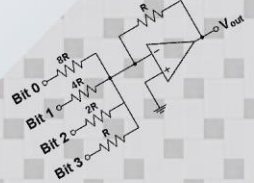


SENSOR & TRANSDUSER

Teori dan Aplikasi

Dr. Muhammad Yusro, M.T
Dr. Aodah Diamah, M.Eng



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2019

TIM PENYUSUN

Buku Ajar

Sensor dan Transduser (Teori dan Aplikasi)

Penyusun

1. Dr. Muhammad Yusro, M.T
2. Dr. Aodah Diamah, M.Eng

Tim Teknis

1. Yuni Kartika, S.Pd
2. Achmad Zaenudin, S.Pd
3. Aditya Dwi Putra, S.Pd

Buku Ajar ini tidak untuk diperjualbelikan dan hanya digunakan di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika (S1) dan Teknik Elektronika (D3) Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta

Copyrights ©2019 pada www.myusro.id

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya maka penulisan buku ajar ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Buku ajar yang berjudul **Sensor dan Transduser (Teori dan Aplikasi)** adalah buku ajar untuk Mata Kuliah Sensor Transduser (2 SKS) pada Program studi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuan yang telah diberikan oleh para pihak.

1. Dr. Uswatun Hasanah, M.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Dr. Efri Sandi, M.T. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
3. Dr. Aodah Diamah, M.Eng. sebagai anggota tim penulis buku ajar.
4. Yuni Kartika, S.Pd., Achmad Zenudin, S.Pd., dan Aditya Dwi Putra, S.Pd. sebagai tim asisten penyusunan buku ajar.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyusunan buku ajar dan semoga buku ajar ini bermanfaat untuk kita semua.

Jakarta, 1 Desember 2019

Penulis,

IDENTITAS MATA KULIAH

Nama Mata Kuliah (SKS)	: Sensor dan Transduser (Teori - 2 SKS)
Dosen Pengampu	: Dr. Muhammad Yusro, M.T. Dr. Aodah Diamah, M.Eng.
Tujuan Mata Kuliah	: Tujuan mata kuliah ini adalah agar mahasiswa memiliki kemampuan untuk: <ol style="list-style-type: none">1. Membedakan pengertian sensor dan transduser.2. Menjelaskan sifat, klasifikasi dan karakteristik sensor dan transduser.3. Memahami konsep akuisisi data pada sensor dan transduser.4. Menjelaskan jenis dan fungsi sensor (sensor suhu, sensor regangan, sensor suara, sensor percepatan dan getaran, sensor posisi dan pergeseran, sensor gaya dan tekanan, sensor bioelektrik dan elektroda, sensor aliran, dan sensor level).5. Menjelaskan teknologi jaringan sensor nirkabel (<i>wireless sensor network</i>)6. Menganalisis berbagai aplikasi sensor dan transduser di industri.
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah ini membahas tentang pengertian sensor dan transduser; sifat sensor (resistif, kapasitif, dan induktif), klasifikasi sensor, karakteristik sensor (statik dan dinamik); sistem akuisisi data; jenis dan fungsi sensor (sensor suhu, sensor regangan, sensor suara, sensor percepatan dan getaran, sensor posisi dan pergeseran, sensor gaya dan tekanan, sensor bioelektrik dan elektroda, sensor aliran, dan sensor level); jaringan sensor nirkabel (<i>wireless sensor network</i>) dan aplikasi sensor dan transduser di industri.
Daftar Topik/Pokok Bahasan	: <ol style="list-style-type: none">1. Pengertian/perbedaan sensor dan transduser.2. Sifat, klasifikasi dan karakteristik sensor dan transduser.3. Sistem akuisisi data pada sensor dan transduser.4. Jenis dan fungsi sensor dan transduser.5. Teknologi jaringan sensor nirkabel.6. Aplikasi sensor dan transduser di industri.

Daftar Pustaka Utama

- : 1. Dunn, William C. (2006). *Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control*. ISBN-10: 1-58053-011-7.
2. Rangaan, C.S. (1990). *Instrumentation: Devices and Systems*. McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
3. Sinclair, Ian R. (2001). *Sensors and Transducers*. Third Edition. Published by Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-4932-1
4. Shinar, Ruth and Shinar, Joseph. (2009). *Organic Electronics in Sensors and Biotechnology*. McGraw-Hill Publishing Company. ISBN: 978-0-07-159676-3
5. Usher M.J. (1985). *Sensors and Transducers*. MacMillan Publisher Ltd. ISBN 978-1-349-18052-3
6. Sumber lainnya yang berasal dari Jurnal/Paper

DAFTAR ISI

Sampul Muka	i
Kata Pengantar	ii
Identitas Mata Kuliah	iii
Daftar Isi	v
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Ruang Lingkup	2
D. Manfaat	2
E. Petunjuk Penggunaan Buku Ajar	2
BAB II DASAR SENSOR DAN TRANSDUSER	
A. Capaian Pembelajaran	3
B. Sub Capaian Pembelajaran	3
C. Pokok-pokok Materi (Peta Konsep)	3
D. Uraian Materi	3
E. Rangkuman Materi	15
F. Tugas	15
G. Tes Formatif	15
H. Glosarium	17
I. Daftar Pustaka	18

BAB III SISTEM AKUISISI DATA PADA SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran	19
B. Sub Capaian Pembelajaran	19
C. Pokok-pokok Materi (Peta Konsep)	19
D. Uraian Materi	19
E. Rangkuman Materi	32
F. Tugas	33
G. Tes Formatif	33
H. Glosarium	35
I. Daftar Pustaka	35

BAB IV JENIS DAN FUNGSI SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran	36
B. Sub Capaian Pembelajaran	36
C. Pokok-pokok Materi (Peta Konsep)	36
D. Uraian Materi	36
E. Rangkuman Materi	86
F. Tugas	87
G. Tes Formatif	87
H. Glosarium	88
I. Daftar Pustaka	89

BAB V TEKNOLOGI JARINGAN SENSOR NIRKABEL

A. Capaian Pembelajaran	92
B. Sub Capaian Pembelajaran	92
C. Pokok-pokok Materi (Peta Konsep)	92
D. Uraian Materi	93

E. Rangkuman Materi	103
F. Tugas	103
G. Tes Formatif	103
H. Glosarium	104
I. Daftar Pustaka	105

BAB VI APLIKASI SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran	107
B. Sub Capaian Pembelajaran	107
C. Pokok-pokok Materi (Peta Konsep)	107
D. Uraian Materi	107
E. Rangkuman Materi	119
F. Tugas	119
G. Tes Formatif	119
H. Glosarium	121
I. Daftar Pustaka	122

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Era industri 4.0 telah mengubah pola interaksi dan kerja manusia yang sebelumnya banyak menggunakan tenaga/sumber daya manusia menjadi sebuah pola kehidupan baru di mana mesin-mesin otomatis dan cerdas (*automatic and intelligent machine*) berbasis teknologi informasi telah mengambil alih fungsi pekerjaan manusia. Revolusi industri 4.0 mempunyai beberapa ciri di antaranya pesatnya perkembangan teknologi digital, implementasi *Internet of Things and Services (IoTS)* dan perubahan kultur masyarakat (*society 5.0*) ke dalam lingkungan industri (Triyono, 2019). Seiring dengan perkembangan teknologi cerdas maka kemajuan teknologi di bidang elektronika, digital dan otomasi industri telah menyebabkan pemanfaatan komponen sensor, transduser dan aktuator semakin beragam dan banyak diaplikasikan di berbagai rangkaian elektronika.

Perkembangan teknologi sensor dan transduser berdampak pula pada pemanfaatan jaringan sensor nirkabel atau *Wireless Sensor Network (WSN)* ke dalam berbagai pekerjaan manusia dan industri. Pada awalnya, aplikasi WSN hanya digunakan untuk kegiatan militer untuk keperluan pertahanan suatu negara. Namun, saat ini WSN telah digunakan dalam berbagai bidang dan untuk beragam keperluan, antara lain untuk pemantauan lingkungan, pemantauan aktivitas gunung api, komponen pendukung membangun rumah pintar (*smart home*), kota pintar (*smart city*), transportasi pintar (*smart transportation*), pemantauan aktivitas di bidang perkebunan dan pertanian, dan lain sebagainya. Sesungguhnya aktivitas utama dari aplikasi WSN merupakan pemantauan, namun untuk kebutuhan kendali (*control system*) dapat melibatkan perangkat output seperti aktuator.

Dengan merujuk pada kondisi di atas sekaligus pentingnya kebutuhan informasi terkait perkembangan teknologi sensor dan transduser, maka dirasakan penting mengajarkan materi sensor dan transduser secara komprehensif dengan penyusunan buku ajar terkait. Buku ajar ini akan membahas prinsip kerja, fungsi dan klasifikasi sensor dan transduser sampai dengan aplikasi sensor dan transduser di industri. Dengan mempelajari sensor dan transduser diharapkan mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan jenis-jenis sensor dan transduser sesuai fungsinya sebagai pendeteksi gejala-gejala atau sinyal-

sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya.

B. Tujuan

Tujuan penulisan buku ajar ini adalah untuk memberikan pengetahuan dan informasi kepada para mahasiswa tentang sensor dan transduser; sifat, klasifikasi dan karakteristik sensor dan transduser; konsep akuisisi data pada sensor dan transduser; berbagai jenis dan fungsi sensor; teknologi jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network*) dan beberapa aplikasi sensor dan transduser di industri.

C. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pembahasan dalam buku ajar ini mencakup tentang pengetahuan dasar tentang sensor dan transduser, jenis dan fungsi sensor dan transduser dan penggunaan/aplikasi sensor dan transduser di industri.

D. Manfaat

Manfaat buku ajar ini adalah sebagai berikut:

- a. Mahasiswa dapat memahami perkembangan teknologi sensor dan transduser.
- b. Mahasiswa dapat memilih dan menggunakan sensor dan transduser sesuai dengan jenis dan fungsinya.
- c. Mahasiswa dapat memahami penggunaan sensor dan transduser di industri.

E. Petunjuk Penggunaan Buku

Untuk memperoleh hasil belajar secara maksimal, dalam menggunakan buku ajar ini maka langkah-langkah yang perlu dilaksanakan antara lain:

1. Bacalah dan pahami dengan seksama uraian-uraian materi yang ada pada masing-masing kegiatan belajar. Bila ada materi yang kurang jelas, mahasiswa dapat bertanya pada dosen pengampu.
2. Kerjakan setiap tugas formatif (soal latihan) untuk mengetahui seberapa besar pemahaman yang telah dimiliki terhadap materi-materi yang dibahas dalam setiap kegiatan belajar.
3. Jika belum menguasai level materi yang diharapkan, ulangi lagi pada kegiatan belajar sebelumnya atau bertanyalah kepada dosen yang mengampu kegiatan pembelajaran.

BAB II

DASAR SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran

1. Mampu memahami pengertian sensor dan transduser.
2. Mampu memahami sifat-sifat, klasifikasi dan karakteristik sensor dan transduser.

B. Sub Capaian Pembelajaran

1. Mampu menjelaskan pengertian sensor.
2. Mampu menjelaskan pengertian transduser.
3. Mampu menjelaskan sifat-sifat sensor dan transduser.
4. Mampu menjelaskan klasifikasi sensor dan transduser.
5. Mampu menjelaskan karakteristik sensor dan transduser.

C. Pokok-pokok Materi (Peta Konsep)

1. Pengertian sensor dan transduser
2. Sifat-sifat sensor dan transduser
3. Klasifikasi sensor dan transduser
4. Karakteristik sensor dan transduser

D. Uraian Materi

1. Pengertian Sensor dan Transduser

Sensor dan transduser adalah komponen penting elektronika yang banyak digunakan serta terus mengalami perkembangan pada sisi material, bentuk, spesifikasi, fungsi dan teknologinya. Dalam perkembangan teknologi elektronika, sensor memiliki peran penting dalam memastikan berfungsinya sebuah mesin, gadget, kendaraan dan proses industri. Sensor pun banyak digunakan dalam peralatan medis, teknik penerbangan, dalam proses otomasi industri dan robotika, dan berbagai aplikasi yang lain.

Sensor adalah suatu komponen atau peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya (Sharon, 1982). Contoh dari sensor adalah kamera sebagai sensor penglihatan, telinga sebagai sensor pendengaran, kulit sebagai sensor peraba, LDR (Light Dependent Resistance)

sebagai sensor cahaya, dan lainnya. Dalam sebuah sistem pengukuran atau sistem instrumentasi, sensor adalah elemen sistem yang secara efektif berhubungan dengan proses di mana suatu variabel sedang diukur dan menghasilkan suatu keluaran dalam bentuk tertentu tergantung pada variabel masukannya, dan dapat digunakan oleh bagian sistem pengukuran yang lain untuk mengenali nilai variabel tersebut (Syam, 2013). Contoh adalah sensor termokopel yang memiliki masukan berupa temperatur serta keluaran berupa gaya gerak listrik (GGL) yang kecil. GGL yang kecil ini oleh bagian sistem pengukuran yang lain dapat diperkuat sehingga diperoleh pembacaan pada alat ukur.

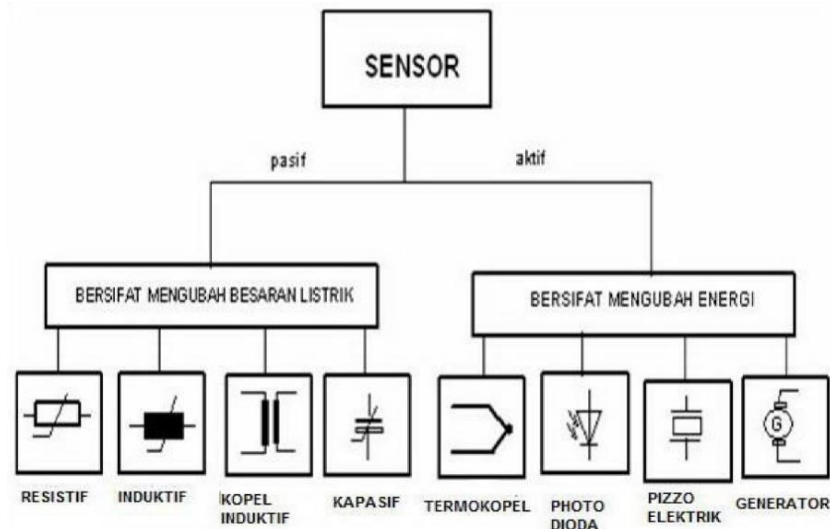
Saat ini sensor dibuat dengan ukuran sangat kecil dengan orde nanometer yang memudahkan pemakaian dan menghemat energi (Karim, 2016). Sensor adalah komponen listrik atau elektronik yang sifat atau karakter kelistrikannya diperoleh atau diambil melalui besaran listrik (contoh: arus listrik, tegangan listrik atau juga bisa diperoleh dari besaran bukan listrik, contoh: gaya, tekanan yang mempunyai besaran bersifat mekanis, atau suhu bersifat besaran thermis, dan bisa juga besaran bersifat kimia, bahkan mungkin bersifat besaran optis).

Transduser adalah sebuah alat yang bila digerakkan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi, akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi berikutnya (William D.C, 1993). Transmisi energi ini bisa berupa listrik, mekanik, kimia, optik (radiasi) atau termal (panas). Transduser dapat pula didefinisikan sebagai suatu peranti yang dapat mengubah suatu energi ke bentuk energi yang lain. Bagian masukan dari transduser disebut “sensor”, karena bagian ini dapat mengindra suatu kuantitas fisik tertentu dan mengubahnya menjadi bentuk energi yang lain.

Transduser dapat dikelompokkan berdasarkan pemakaiannya/penggunaannya, metode perubahan energi dan sifat-sifat dasar dari sinyal keluaran. Berdasarkan metode perubahan energinya, transduser dan sensor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis (William D.C, 1993), yakni: 1) Transduser jenis pembangkit sendiri (*self generating type*) yang menghasilkan tegangan atau arus analog bila dirangsang dengan suatu bentuk fisis energi, transduser jenis ini tidak memerlukan daya dari luar untuk mendapatkan arus atau tegangan analog tersebut. Contoh termokopel, foto voltaik, dan 2) Transduser yang memerlukan daya dari luar untuk mendapatkan tegangan dan arus keluaran disebut transduser pasif. Contoh thermistor, RTD, LVDT, strain gauge.

2. Sifat Sensor

Sensor dibedakan sesuai dengan aktifitas sensor yang didasarkan atas konversi sinyal yang dilakukan dari besaran sinyal bukan listrik (*nonelectric signal value*) ke besaran sinyal elektrik (*electric signal value*) yaitu, sensor aktif (*active sensor*) dan pasif sensor (*passive sensor*). Gambar 2.1 menunjukkan sifat sensor berdasarkan klasifikasi sesuai fungsinya.



Gambar 2.1. Sifat sensor berdasarkan klasifikasi sesuai fungsinya
(Sumber : Syaiful Karim, 2016)

a. Sensor Aktif (*Active Sensor*)

Sensor aktif adalah sensor yang memerlukan bantuan sumber energi untuk mengkonversi suatu besaran bukan listrik ke besaran listrik. Contoh dari sensor aktif adalah *Thermocouple*, *photodiode*, *pizzo elektrik*, dan generator.

b. Sensor Pasif (*Passive Sensor*)

Sensor pasif adalah sensor yang tidak memerlukan bantuan sumber energi untuk mengkonversi sifat-sifat fisik atau kimia ke besaran listrik. Contoh dari sensor pasif adalah *microphone*.

3. Klasifikasi Sensor dan Transduser

Sensor dan transduser dapat diklasifikasi berdasarkan beberapa hal, yaitu: pemakaiannya atau penggunaannya, metode pengubahan energi dan sifat-sifat dari sinyal keluaran

a. Klasifikasi sensor berdasarkan pemakaian atau penggunaannya

Berdasarkan pemakaian atau penggunaannya, sensor dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu:

1) Sensor *thermal*

Sensor *thermal* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan suhu atau *temperature* pada suatu benda padat, cair, dan gas. Contoh dari sensor *thermal* adalah *thermocouple*, *resistance temperature detector* (RTD), *thermistor* dan lain-lain.

2) Sensor mekanis

Sensor mekanis adalah sensor yang mendeteksi perubahan mekanis seperti perpindahan atau pergeseran, posisi gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level, dan sebagainya (Jaja Kustija, 2012). Contoh dari sensor mekanis adalah *strain gauge*, *linear variable differential transformers* (LVDT), *load cell*, *bourdon tube* dan lain-lain.

3) Sensor *Optic* (Cahaya)

Sensor *optic* adalah sensor yang dapat mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya atau bias cahaya yang mengenai suatu benda atau ruangan. Contoh dari sensor *optic* adalah *light dependent resistor* (LDR), fotodiode, dan lain-lain.

b. Klasifikasi sensor dan transduser berdasarkan metode perubahan energinya

Berdasarkan metode perubahan energinya, sensor dan transduser dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis (William, 1985), yaitu:

1) *Self-generating transducer* (Transduser pembangkit sendiri)

Self-generating transducer adalah transduser yang hanya memerlukan satu sumber energi, contoh *thermocouple*, *photovoltaic*, *thermistor*, *piezo electric*, dan lain-lain. Ciri transduser ini adalah dihasilkannya suatu energi listrik dari transduser secara langsung. Dalam hal ini transduser berperan sebagai sumber tegangan.

2) *External power transducer* (Transduser daya dari luar)

External power transducer adalah transduser yang memerlukan sejumlah energi dari luar untuk menghasilkan suatu keluaran. Contoh, RTD, *strain*

gauge, LVDT, Potensiometer, NTC, dan lain-lain. Tabel 2.1 menunjukkan kelompok transduser.

Tabel 2.1. Kelompok Transduser

Parameter listrik dan kelas transduser	Prinsip kerja dan sifat alat	Pemakaian alat
Transduser Pasif		
Potensiometer	Perubahan nilai tahanan karena posisi kontak bergeser	Tekanan, pergeseran/posisi
<i>Strain gauge</i>	Perubahan nilai tahanan akibat perubahan panjang kawat oleh tekanan dari luar	Gaya, torsi, posisi
Transformator selisih (LVDT)	Tegangan selisih dua kumparan primer akibat pergeseran inti trafo	Tekanan, gaya, pergeseran
Gauge arus pusing	Perubahan induktansi kumparan akibat perubahan jarak plat	Pergeseran, ketebalan
Transduser Aktif		
Sel fotoemisif	Emisi elektron akibat radiasi yang masuk pada permukaan fotoemisif	Cahaya dan radiasi
Photomultiplier	Emisi elektron sekunder akibat radiasi yang masuk ke katoda sensitif cahaya	Cahaya, radiasi dan relay sensitif cahaya
Termokopel	Pembangkitan ggl pada titik sambung dua logam yang berbeda akibat dipanasi	Temperatur, aliran panas, radiasi
Generator kumparan putar (tacho generator)	Perputaran sebuah kumparan di dalam medan magnet yang membangkitkan tegangan	Kecepatan, getaran
Piezoelektrik	Pembangkitan ggl bahan kristal piezo akibat gaya dari luar	Suara, getaran, percepatan, tekanan

Sel foto tegangan	Terbangkitnya tegangan pada sel foto akibat rangsangan energi dari luar	Cahaya matahari
Termometer tahanan (RTD)	Perubahan nilai tahanan kawat akibat perubahan temperature	Temperatur, panas
Hygrometer tahanan	Tahanan sebuah strip konduktif berubah terhadap kandungan uap air	Kelembaban relatif
Termistor (NTC)	Penurunan nilai tahanan logam akibat kenaikan temperature	Temperatur
Mikropon kapasitor	Tekanan suara mengubah nilai kapasitansi dua buah plat	Suara, musik, derau
Pengukuran reluktansi	Reluktansi rangkaian magnetik diubah dengan mengubah posisi inti besi sebuah kumparan	Tekanan, pergeseran, getaran, posisi

c. Klasifikasi Sensor Berdasarkan Sifat-sifat Dasar Keluaran

Berdasarkan sifat-sifat dasar keluaran transduser dan sensor dapat diklasifikasikan mejadi lima jenis, yaitu:

1. Perubahan resistansi

Besaran yang diindera menghasilkan perubahan resistansi pada keluarannya. Contohnya ialah:

a. *Resistance Temperature Detector* (RTD)

Prinsip kerja dari RTD adalah mengubah besaran *temperature* menjadi perubahan tahanan listrik (Jaja Kustija, 2012).

b. *Strain gauge*

Strain gauge berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat isolasi dan ditempel pada benda yang akan diukur tekanannya. Prinsip kerjanya jika tekanan pada benda berubah, maka kawat akan terdeformasi dan tahanan listrik alat akan berubah (R. Mateiu, M dalam Detiza Glodianto O. H, 2013).

c. *Thermistor*

Prinsip kerja dari *thermistor* adalah mengubah besaran *temperature* menjadi perubahan tahanan listrik (Jaja Kustika, 2012).

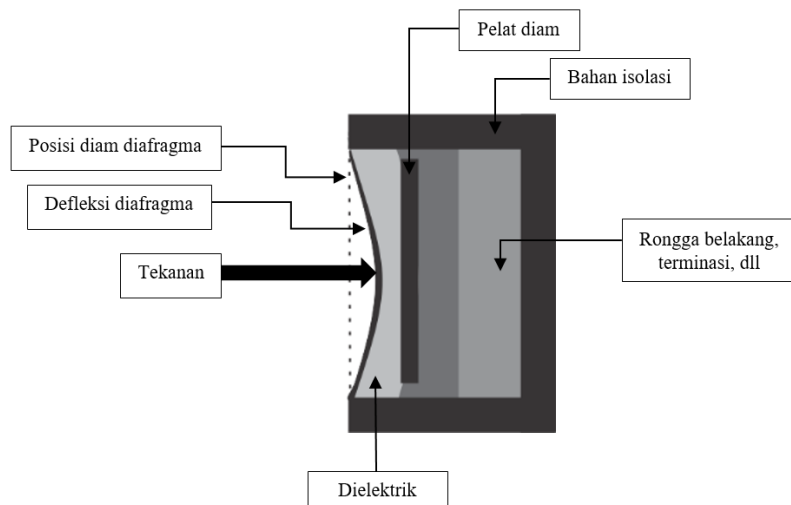
2. Perubahan kapasitansi

Besaran yang diindera (diterima sensor) menghasilkan perubahan induktansi pada keluarannya. Sensor yang menggunakan prinsip perubahan kapasitansi adalah sensor kapasitif. Sensor kapasitif bekerja berdasarkan metode kapasitif yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan komposisi bahan dielektrik, dengan menentukan nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik (Bowo Eko Cahyono, 2016). Persamaan 2.1 digunakan untuk mencari nilai kapasitansi dari sebuah kapasitor plat paralel.

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} \quad \text{Persamaan 2.1}$$

Keterangan:

- C = Kapasitansi
- ϵ_0 = Permitivitas ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)
- A = Luas Penampang (m^2)
- Ke = Konstanta dielektrik
- d = jarak antara plat (m)



Gambar 2.1. Transduser kapasitif

3. Perubahan Induktansi

Besaran-besaran yang diindra (diterima sensor) menghasilkan perubahan besaran tegangan pada keluarannya, yang disebabkan oleh perubahan induktansi pada sensor. Contoh $L = \frac{\mu_r \mu_0 N^2 A}{l}$ induktif, prinsip fisis dari sensor induktif yaitu berdasarkan induktansi koil datar itu sendiri karena adanya gangguan bahan konduktif dalam medan magnetnya sehingga pada bahan tersebut terjadi arus pusar yang dikenal *eddy current* (Djamal, M, 2004 dan Drajat, A, 2004 dalam Yulkifli, 2007). Sensor induktif terbuat dari kumparan kawat halus dalam bentuk melingkar yang tersusun secara mendatar.

Persamaan 2.2

Keterangan:

L = Induktansi

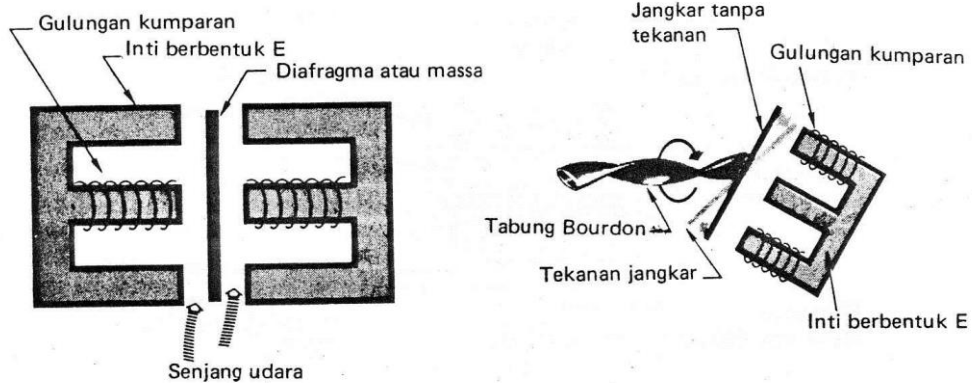
μ_r = Permeabilitas relatif

μ_0 = Permeabilitas ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

l = Panjang Lilitan

N = Jumlah Lilitan

A = Luas Penampang (m^2)



(a) Induktor Kumparan Ganda

(b) Induktor Satu Kumparan

Gambar 2.3. Induktor kumparan ganda dan induktor satu kumparan

(Sumber: William, 1985)

4. Menghasilkan Arus Listrik

Besaran-besaran yang diindera menghasilkan arus listrik pada keluarannya, contohnya Fotovoltaik. Fotovoltaik adalah proses di mana dua bahan yang berbeda dalam jarak dekat menghasilkan tegangan listrik ketika ditembak oleh cahaya, proses ini juga dapat menghasilkan arus listrik.

5. Menghasilkan Tegangan Listrik

Besaran-besaran yang diindera menghasilkan perubahan tegangan pada keluarannya, contohnya:

a. *Thermocoupe*

Prinsip kerja dari transduser ini adalah dengan mengubah *temperature* menjadi tegangan listrik.

b. *Tacho Generator*

Prinsip kerja dari transduser ini adalah dengan mengubah kecepatan putaran menjadi tegangan listrik.

4. Karakteristik Sensor dan Transduser

Sensor dan transduser memiliki 2 karakteristik, yaitu karakteristik statis dan karakteristik dinamis. Berikut adalah penjelasan dari karakteristik statis dan karakteristik dinamis:

a. Karakteristik Statis

Karakteristik statis adalah karakteristik yang dimiliki oleh sensor dan transduser pada saat keadaan stabil, karakteristik ini tidak dipengaruhi oleh waktu. Karakteristik statis memiliki bagian-bagiannya, seperti akurasi, presisi, resolusi, sensitivitas, linearitas, histerisis, span, repeatability.

1) Akurasi

Akurasi adalah hubungan ideal antara *input* dan *output* yang tidak berubah terhadap waktu. Sensor memiliki perhitungan ideal untuk hubungan antara input dan output (stimulus dan respon). *Output* dari sensor akan mempresentasikan nilai sebenarnya dari stimulus yang diterima, jika sebuah sensor didesain dan difabrikasi dengan material, alat, dan pekerja yang ideal. Hubungan ideal antara *input* dan *output* bisa dijelaskan dalam bentuk tabel, grafik, dan rumus matematis (Nugroho & Suryopratomo, 2013).

2) Presisi

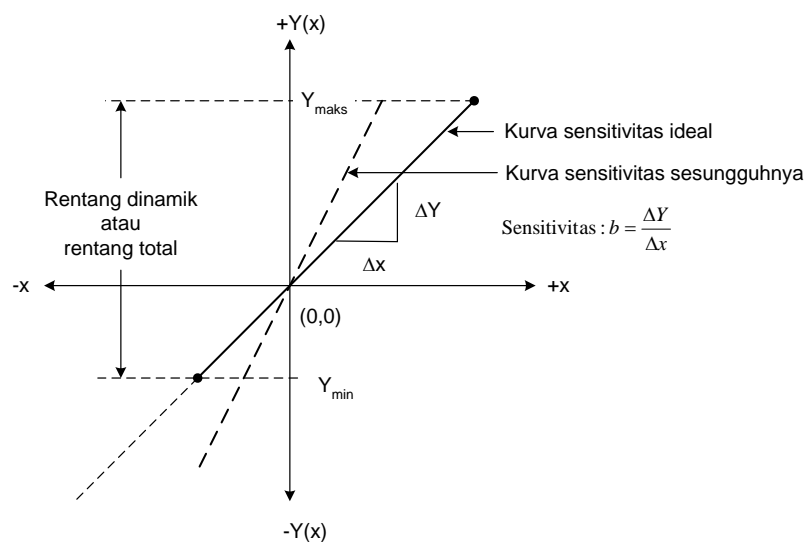
Presisi adalah kemampuan alat ukur untuk memberikan pembacaan yang sama ketika pengukuran besaran yang sama dilakukan secara berulang pada kondisi yang sama.

3) Resolusi

Resolusi adalah kenaikan terkecil pada masukan (*input*) yang menghasilkan kenaikan yang lebih besar sehingga dapat terdeteksi pada keluaran (*output*) sensor.

4) Sensitivitas

Sensitivitas adalah perubahan *output* (keluaran) yang terdeteksi karena adanya masukan (*input*) parameter fisis. Atau dapat pula didefinisikan sebagai perubahan tegangan keluaran sebagai akibat perubahan nilai masukannya. Semakin tinggi sensitivitas maka semakin bagus, karena dapat menghasilkan keluaran (*output*) yang besar dengan masukan (*input*) sinyal yang kecil. Gambar 2.4 menunjukkan kurva sensitivitas.



Gambar 2.1 Kurva sensitivitas

Rentang dinamik yang terdapat dalam kurva adalah rentang total keluaran sensor, yang secara matematis dirumuskan sebagai:

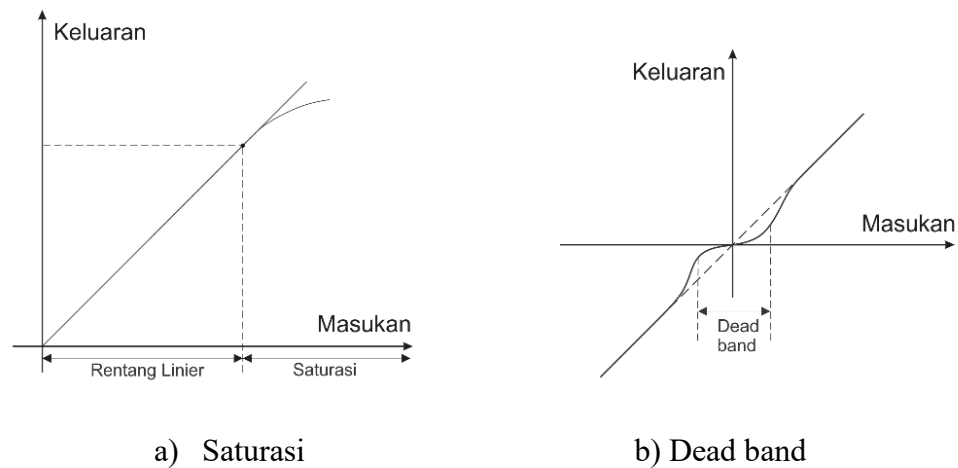
$$R_{\text{dinamik}} = Y_{\text{maks}} - Y_{\text{min}}$$

Persamaan 2.3

Sensor memiliki sifat *responsive* (menghasilkan sinyal keluaran yang sebanding dengan nilai masukannya) hingga pada batas-batas tertentu. Bila stimulus terus ditingkatkan, maka sensor tidak lagi menghasilkan keluaran yang diharapkan, dan sensitivitas menurun dan akan kehilangan kesensitivitasannya. Dalam penerapannya, terkadang sensitivitas memiliki kesalahan (*error*), kesalahan (*error*) tersebut terdiri dari saturasi dan *dead band*:

- Saturasi adalah daerah kerja sensor setelah rentang linier di mana responnya terhadap masukan tidak lagi menghasilkan keluaran yang diharapkan.
- Daerah mati (*dead band*) adalah kondisi di mana sensor sudah tidak sensitif lagi pada suatu rentang tertentu saat diberi sinyal masukan.

Gambar 2.5 menunjukkan kurva saturasi dan *dead band*.



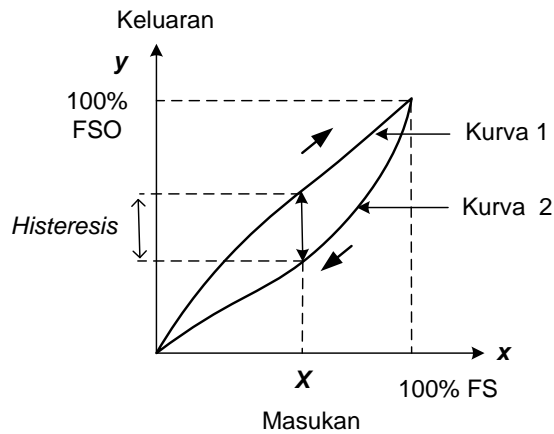
Gambar 2. 5 Kurva saturasi dan kurva dead band

5) Linearitas (*Linearity*)

Linearitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan karakteristik input dan output secara simetris dan linier (Samadikun, 1989).

6) Histerisis

Histerisis adalah penyimpangan dari keluaran output sensor pada titik tertentu dari sinyal input ketika didekati dari arah yang berlawanan (Nugroho & Suryoprato, 2013).



Gambar 2.6. Kurva histeresis

7) **Span**

Span adalah jangkauan variabel pengukuran pada instrumen yang direncanakan dapat mengukur secara linier (Samadikun, 1989).

8) **Repeatability**

Repeatability adalah selisih antara dua pembacaan keluaran (*output*) dalam suatu pengukuran berulang untuk suatu nilai masukan yang sama, yang di dekati dari arah yang sama dan dengan kondisi kerja yang sama atau serupa.

b. Karakteristik Dinamis

Karakteristik dinamis adalah karakteristik yang dimiliki oleh sensor dan transduser pada saat keadaan akan siap atau keadaan transien (sementara), karakteristik ini dipengaruhi oleh waktu. Karakteristik dinamis terdiri dari *rise time*, *time constant*, *dead time* atau *delay*, respon frekuensi, dan parameter orde ke-2.

1) **Rise time**

Rise time adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk naik dari 10%-90% (*overdamped*) atau 0% – 100% (*underdamped*) dari nilai akhir.

2) **Time konstan**

Time konstan merupakan waktu yang dibutuhkan *output* untuk mencapai nilai tertentu dari nilai maksimum.

3) **Dead time atau delay**

Dead time atau *delay* adalah perbedaan waktu antara *input* dan *output*. Dengan kata lain, waktu yang dibutuhkan untuk transisi pada *input* (perpindahan logika) dengan respon perpindahan logika pada *output*.

4) Respon frekuensi

Respon frekuensi merupakan representasi dari respon sistem masukan yang berupa sinyal sinusoida dengan frekuensi yang bervariasi.

E. Rangkuman Teori

1. Sensor adalah suatu komponen/peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya.
2. Transduser adalah sebuah alat yang bila digerakkan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi, akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi berikutnya.
3. Dalam sebuah sistem pengukuran, sensor merupakan elemen sistem yang secara efektif berhubungan dengan proses di mana suatu variabel sedang diukur dan menghasilkan suatu keluaran dalam bentuk tertentu tergantung pada variabel masukannya, dan dapat digunakan oleh bagian sistem pengukuran yang lain untuk mengenali nilai variabel tersebut.
4. Sifat sensor dibagi menjadi 2 sesuai fungsinya yaitu, sensor aktif dan sensor pasif. Sensor aktif membutuhkan energi lain untuk mengkonversi suatu besaran non-listrik ke besaran listrik, sedangkan sensor pasif sebaliknya.
5. Sensor diklasifikasi berdasarkan pemakaiannya, metode pengubah energinya dan sifat-sifat sinyal keluarannya.
6. Sensor dan transduser memiliki karakteristik, karakteristik tersebut dibagi menjadi 2 yaitu, karakteristik statis dan karakteristik dinamis.

F. Tugas

Carilah contoh dari klasifikasi sensor dan transduser berdasarkan pemakaiannya dan tuliskan cara kerja sertakan dengan gambarnya.

G. Tes Formatif

1) Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal pilihan ganda berikut ini!

1. Apa yang dimaksud dengan sensor?
 - a. Sensor adalah suatu alat yang dapat mengubah arus menjadi tegangan
 - b. Sensor adalah suatu alat yang dapat mengubah suatu bentuk energi menjadi bentuk energi yang lain
 - c. Sensor adalah suatu alat yang dapat mengubah tahanan menjadi tegangan listrik
 - d. Sensor adalah suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi listrik
2. Dalam penerapannya untuk apakah sensor thermal digunakan?
 - a. Sensor thermal digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan suhu atau temperature
 - b. Sensor thermal digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan massa suatu benda
 - c. Sensor thermal digunakan untuk mendeteksi gejala perpindahan suatu benda
 - d. Sensor thermal digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan cahaya
3. Berikut adalah contoh sensor sensor mekanis, kecuali....
 - a. *Strain gauge*
 - b. LVDT (linear variable differential transformer)
 - c. Load cell
 - d. Thermocouple
4. Sensor dan transduser diklasifikasi berdasarkan beberapa hal. Berikut adalah klasifikasi sensor dan transduser, kecuali....
 - a. Pemakaiannya atau penggunaannya
 - b. Besarnya tegangan sensor dan transduser
 - c. Metode perubahan energi
 - d. Sifat sinyal keluaran
5. Salah satu karakteristik sensor dan transduser adalah linearitas. Apa yang dimaksud dengan linearitas ?
 - a. Linearitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan karakteristik input dan output secara simetris
 - b. Linearitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan karakteristik input secara simetris
 - c. Linearitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan karakteristik input dan output secara tidak simetris

- d. Linearitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan karakteristik input dan output.

2) Essay

1. Jelaskan dan berikan contoh yang dimaksud dengan transduser?
2. Jelaskan sifat-sifat dari sensor dan transduser dan contohnya dari setiap sifat sensor tersebut!
3. Jelaskan klasifikasi-klasifikasi sensor dan transduser dan berikan contohnya!

H. Glosarium

Istilah	Pengertian
Sensor	Komponen atau peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya.
Transduser	Sebuah alat yang bila digerakkan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi, akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi berikutnya
Sensor Termal	Sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas/temperatur/suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu.
Sensor Mekanis	Sensor yang mendeteksi perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran atau posisi, gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level.
Sensor Optik	Sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias cahaya yang mengenai benda atau ruangan.

<i>Self generating transducer</i>	Transduser yang hanya memerlukan satu sumber energi
<i>External power transducer</i>	Transduser yang memerlukan sejumlah energi dari luar untuk menghasilkan suatu keluaran.
Fotovoltaik (<i>Photovoltaic</i>)	Suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya.

I. Daftar Pustaka

1. Karim, Syaiful (2016). *Rangkaian Elektronika Sensor dan Aktuator*. Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif dan Elektronika, Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
2. Kustija, Jaja (2012). *Modul Sensor dan Transduser*. Universitas Mercubuana, Jakarta.
3. Nugroho, A. S., & Suryoprato, K. (2013). *Rancang Bangun Sensor Pengukur Level Interface Air dan Minyak pada Mini Plant Separator*. 2(2), 42–54.
4. Samadikun, S. (1989). *Sistem Instrumentasi Elektronika*. 29.
5. Sinclair, Ian R. (2001). *Sensors and Transducers*. Third Edition. Published by Butterworth-Heineman. ISBN 0-7506-4932-1
6. Syam, Rafiuddin (2013). *Dasar-dasar Teknik Sensor*. Universitas Hasanuddin-Makassar. ISBN. 978-979-17225-7-5
7. Usher M.J. (1985). *Sensors and Transducers*. MacMillan Publisher Ltd. ISBN 978-1-349-18052-3
8. William, D.C. (1985). *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran* (2nd ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.

BAB III

SISTEM AKUISISI DATA PADA SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran

1. Mampu memahami sistem akuisisi data pada sensor dan transduser.
2. Mampu memahami prinsip kerja ADC, DAC dan Multipleksing.

B. Sub Capaian Pembelajaran

1. Mampu menjelaskan sistem akuisisi data pada sensor dan transduser.
2. Mampu menjelaskan prinsip kerja *Analog to Digital Converter* (ADC).
3. Mampu menjelaskan prinsip kerja *Digital to Analog Converter* (DAC).
4. Mampu menjelaskan prinsip kerja Multipleksing.

C. Pokok-Pokok Materi (Peta Konsep)

1. Pengertian Akuisisi data
2. *Analog to Digital Converter* (ADC)
3. *Digital to Analog Converter* (DAC)
4. *Multipleksing*

D. Uraian Materi

1. Akuisisi Data

Sistem akuisisi data atau biasa dikenal sebagai *Data Acquisition System* (DAS) adalah sistem instrumentasi elektronik yang bertujuan untuk melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran. Proses akuisisi data, merupakan proses untuk mengkonversi sinyal yang dihasilkan dari pengkondisi sinyal menjadi nilai yang diharapkan (Masria Pane, dkk, 2013 dalam Haryono, 2016). Sistem akuisisi data digunakan untuk mengukur dan mencatat sinyal yang diperoleh dengan 2 cara, yaitu:

1. Sinyal yang berasal dari pengukuran langsung besaran listrik, seperti tegangan AC dan DC, frekuensi, tahanan, atau dapat diperoleh dari komponen elektronika.
2. Sinyal yang berasal dari transduser, seperti *strain gauge* dan *termocouple*.

Akuisisi data dalam sensor adalah proses perubahan data dari sensor menjadi sinyal-sinyal listrik (data analog) yang kemudian dikonversi ke besaran listrik (data

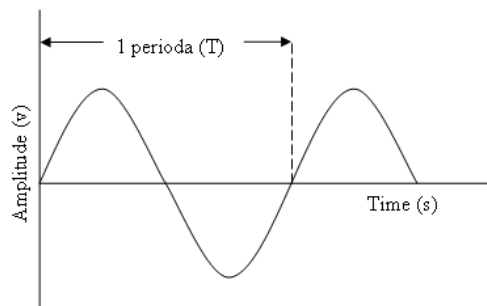
digital) atau biasa disebut sebagai *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk selanjutnya diproses ke dalam komputer, dan adapun *Digital to Analog Converter* (DAC) yang memiliki cara kerja yang berkebalikan dengan ADC. Sebelum lebih lanjut mengenal DAC dan ADC, alangkah baiknya untuk mengetahui tentang konverter, sinyal analog, dan sinyal digital terlebih dahulu.

a. Konverter

Konverter adalah alat bantu untuk mengubah informasi analog (yang biasa diperoleh dari besaran listrik) menjadi besaran digital diskrit dan sebaliknya dapat juga mengubah informasi digital ke dalam bentuk analog.

b. Sinyal Analog

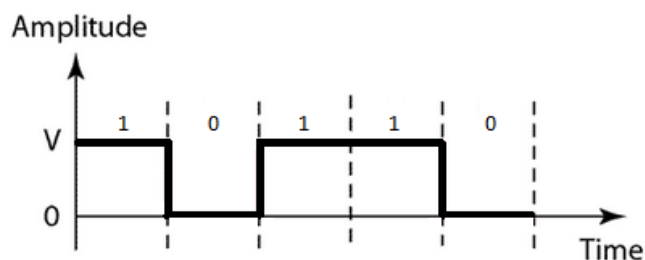
Sinyal analog adalah sinyal yang berbentuk gelombang kontinu, yang memiliki parameter amplitude dan frekuensi. Gambar 3.1 menunjukkan bentuk sinyal gelombang analog.



Gambar 3.1. Sinyal gelombang analog

c. Sinyal Digital

Sinyal digital adalah sinyal data yang berbentuk gelombang pulsa atau kode yang dapat mengalami perubahan bentuk sinyal secara tiba-tiba dan memiliki besaran 0 dan 1. Gambar 3.2 menunjukkan bentuk sinyal gelombang digital:



Gambar 3.2. Sinyal gelombang digital

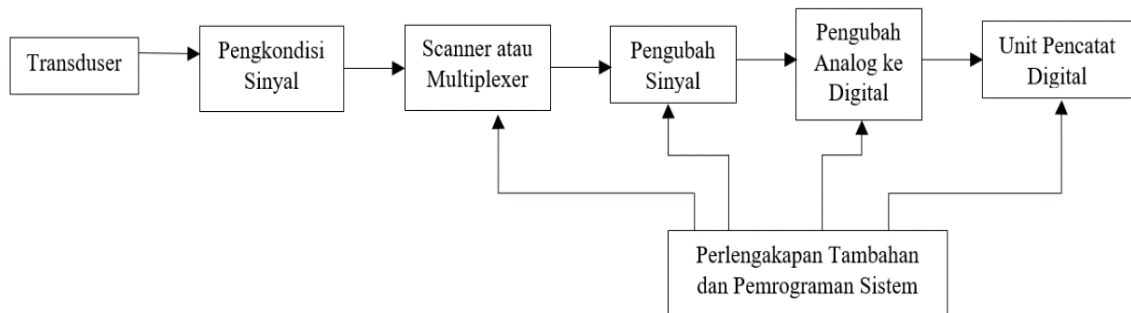
2. Sistem Akuisisi Data Analog

Sistem akuisisi data analog terdiri dari elemen berikut (William, 1985):

1. Transduser yang digunakan untuk mengubah parameter fisis ke sinyal listrik.
2. Pengkondisi sinyal (*signal conditioner*) yang digunakan untuk memperkuat, memodifikasi, atau memilih bagian tertentu dari sinyal tersebut.
3. Alat peraga visual yang digunakan untuk memonitor atau memantu sinyal masukan secara kontinyu.
4. Instrumen pencatat grafik yang digunakan untuk mendapatkan data masukan secara permanen.
5. Instrumen pita magnetik yang digunakan untuk mendapatkan data masukan, mempertahankan bentuk listrik semula, dan mereproduksinya dikemudian hari.

3. Sistem Akuisisi Data Digital

Sistem akuisisi data digital terdiri dari elemen-elemen yang terdapat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. Elemen-elemen sistem akuisisi data digital

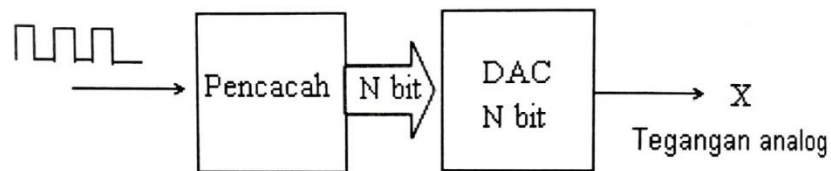
(Sumber: William, 1985)

1. Transduser yang digunakan untuk mengubah parameter fisis menjadi sinyal listrik.
2. Pengkondisi sinyal yang digunakan sebagai penunjang untuk transduser. Rangkaian ini dapat memberikan daya eksitasi, rangkaianimbang, dan elemen kalibrasi.
3. *Scanner* dan *Multiplexer* yang digunakan untuk menerima masukan sinyal analog dan menghubungkannya ke alat pencatat secara berurutan.
4. Pengubah sinyal (*signal converter*) yang digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi bentuk yang dapat diterima oleh pengubah analog ke digital.

5. Pengubah Analog ke Digital (A/D) yang digunakan untuk mengubah tegangan analog menjadi bentuk besaran digital yang sesuai.
6. Perlengkapan tambahan yang terdiri dari instrumen-instrumen untuk pemrograman sistem dan pengolahan data digital.

4. *Digital to Analog Converter (DAC)*

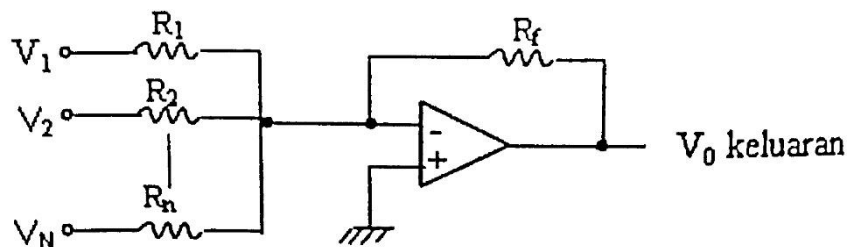
DAC adalah alat yang berfungsi untuk mengubah besaran digital menjadi besaran analog (Saludin Muis, 2012). Simulasi hasil konversi dari besaran digital ke besaran analog dapat menggunakan pencacah N bit sebagai masukan DAC. Gambar 3.4 menunjukkan simulasi konversi DAC.



Gambar 3.4. Simulasi konversi DAC

(Sumber: Saludin Muis, 2012)

Teknik yang menggunakan piranti DAC untuk mengkonversi besaran digital menjadi besaran analog adalah penguat Op-Amp. Prinsip dasar dari rangkaian ini adalah rangkaian penjumlahan (*summing circuit*). Gambar 3.5 menunjukkan rangkaian penguat Op-Amp:



Gambar 3.5. Rangkaian penguat Op-Amp

(Sumber: Saludin Muis, 2012)

Bila pada masukan hanya ada R_1 , maka hubungan antara V_0 dan V_1 adalah:

$$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_i \quad ; \quad V_i = V_1 \quad \text{Persamaan 3.1}$$

V_i adalah nilai digital 1 atau 0, bila pada sisi masukan terdapat R_1 dan R_2 maka jumlah masukan terhadap V_0 akan bertambah.

Maka untuk masukan dari V_1 :

$$V_{01} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_1$$

Maka untuk masukan dari V_2 :

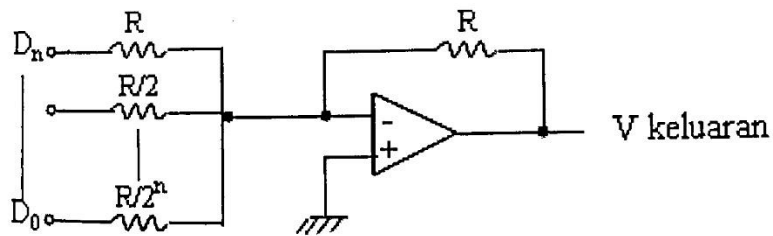
$$V_{02} = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_2$$

Tegangan total:

$$V_0 = V_{01} + V_{02} \quad \text{Persamaan 3.2}$$

Gambar 3.6 dan 3.7 memperlihatkan bentuk rangkaian dari metode yang umum digunakan DAC, yaitu:

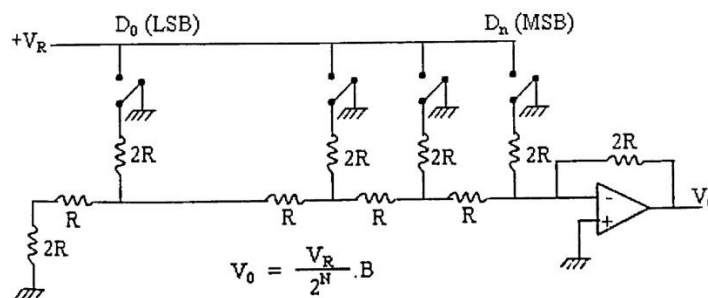
1. Binary Weighted Resistor



Gambar 3.6. Metode Binary Weighted Resistor

(Sumber: Saludin Muis, 2012)

2. Metode R/2R Ladder

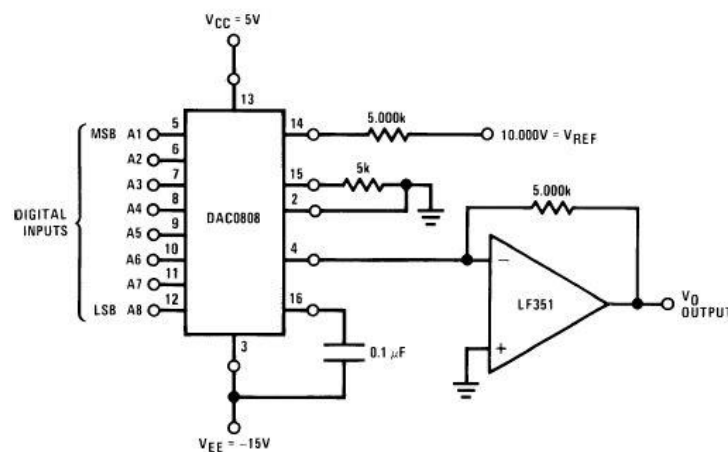


Gambar 3.7. Metode R/2R ladder

(Sumber: Saludin Muis, 2012)

Metode *binary weighted resistor* dan metode *R/2R ladder* memiliki prinsip yang sama dengan rangkaian penguat Op-Amp.

Saat ini sudah banyak DAC yang terintegrasi menjadi IC, contohnya adalah DAC MC 0808) input digital dikonversi menjadi arus listrik, dan dengan menggunakan sebuah resistor pada pin Iout, maka akan didapat hasil tegangan (Amalia, 2013). Total arus yang diberikan oleh pin Iout tergantung dari nilai input dan arus referensi. Gambar 3.8 menunjukkan aplikasi DAC sebagai rangkaian pengendali:

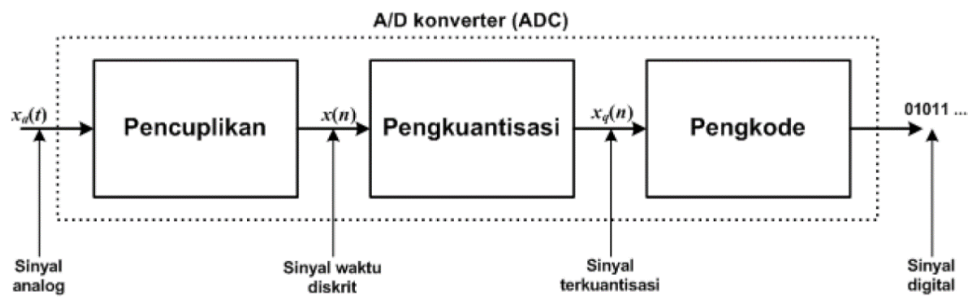


Gambar 3.8. DAC 0808 Rangkaian Pengendali

5. Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to digital converter (ADC) adalah sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran analog menjadi besaran digital (Amalia, 2013). Pada setiap sensor yang berbasis mikrokontroler diperlukan adanya rangkaian ADC untuk mengubah sinyal yang diterima oleh sensor untuk menjadi besaran digital agar sinyal dapat dikonversi dan terbaca mikrokontroler. Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi.

Langkah-langkah konversi analog ke digital terbagi menjadi 3 proses. Gambar 3.9 menunjukkan langkah-langkah konversi dari ADC:



Gambar 3.9. Langkah-langkah ADC
(Sumber: Indrasary, 2016)

Sinyal sinusoida memiliki persamaan rumus sebagai berikut:

$$X_a(t) = A \cos(\omega_a t + \theta) \quad \text{Persamaan 3.3}$$

$$\omega_a = 2\pi f_a$$

Keterangan:

$X_a(t)$ = Sinyal analog (subskrip a menunjukkan analog)

A = Amplitudo atau $X_a(t)$ maksimum

ω_a = frekuensi sudut (rad/detik)

θ = fase

a. Pencuplikan (*Sampling*)

Pencuplikan adalah konversi suatu sinyal waktu kontinu menjadi suatu sinyal waktu diskrit yang diperoleh dengan mengambil “cuplikan/sampling” sinyal waktu kontinu pada saat waktu diskrit (Indrasary, 2016). Menurut (Syam, 2014), pencuplikan adalah suatu proses mengambil data sinyal kontinu (analog) untuk setiap periode tertentu (per detik), yang nantinya akan diubah ke sinyal diskrit. Jika $X_a(t)$ adalah sinyal masukan terhadap pencuplik, maka $X(n) = X_a(nT_p)$ dengan T_p adalah selang pencuplikan. Rumus yang digunakan untuk proses pencuplikan sinyal analog adalah pencuplikan periodik yang terdapat pada persamaan 3.4:

$$X(n) = X_a(nT_p) \quad ; -\infty < n < \infty \quad \text{Persamaan 3.4}$$

$$T_p = \frac{1}{F_p}$$

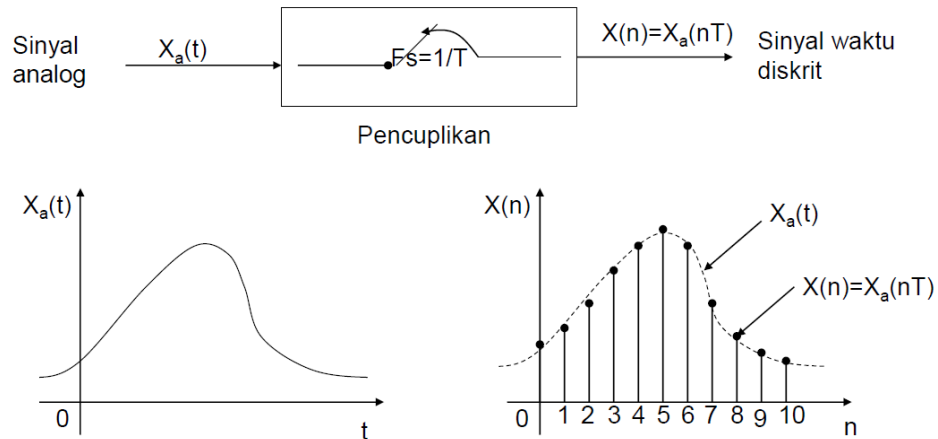
Keterangan:

$X(n)$ = Hasil pencuplikan

T_p = Priode pencuplikan atau selang pencuplikan (detik)

F_p = Frekuensi pencuplikan (cuplikan per detik)

Gambar 3.10 menunjukkan proses pencuplikan periodik atau seragam:



Gambar 3.10. Proses pencuplikan periodik

Pencuplikan periodik menetapkan hubungan antara waktu t dan n dari sinyal waktu kontinu (analog) dan dari sinyal waktu diskrit, sehingga mendapatkan persamaan sebagai berikut:

$$t = nT_p = \frac{n}{F_p} \quad \text{Persamaan 3.5}$$

Dari persamaan 3.5 didapatkan hubungan antara variabel frekuensi sinyal analog dan variabel frekuensi sinyal diskrit, menghasilkan persamaan 3.6:

$$X_a(t) = A \cos(2\pi F_a t + \theta) \quad \text{Persamaan 3.6}$$

Bila persamaan 3.6 dicuplik secara periodik dengan $F_p = 1/T_p$ cuplikan perdetik, maka akan didapat persamaan 3.7:

$$X_a(nT_p) = X(n) = A \cos\left(2\pi \frac{F_a n}{F_p} + \theta\right) \quad \text{Persamaan 3.7}$$

Lalu, sinyal diskrit sinusoida dirumuskan dengan persamaan 3.8:

$$X(n) = A \cos(\omega_d n + \theta) \quad \text{Persamaan 3.8}$$

$$X(n) = A \cos(2\pi F_d n + \theta) \quad \text{Persamaan 3.9}$$

Bila persamaan 3.7 dibandingkan dengan persamaan 3.9 maka dihasilkan persamaan 3.10, yaitu hubungan secara linier antara frekuensi sinyal analog (F_a) dan frekuensi sinyal diskrit(F_d):

$$\text{Acos}(2\pi F_d n + \theta) = \text{Acos}(2\pi \frac{F_a n}{F_P} + \theta)$$

$$F_d = \frac{F_a}{F_P} \quad \text{Persamaan 3.10}$$

b. Kuantisasi

Kuantisasi adalah konversi sinyal yang bernilai-kontinu waktu-diskrit $X(n)$ menjadi sinyal (digital) bernilai-diskrit waktu diskrit $X_q(n)$. Proses pengkuantisasi pada cuplikan $X(n)$ akan menunjukkan deret cuplikan yang terkuantisasi, seperti yang ada pada persamaan 3.11.

$$X_q(n) = Q[X(n)] \quad \text{Persamaan 3.11}$$

Keterangan:

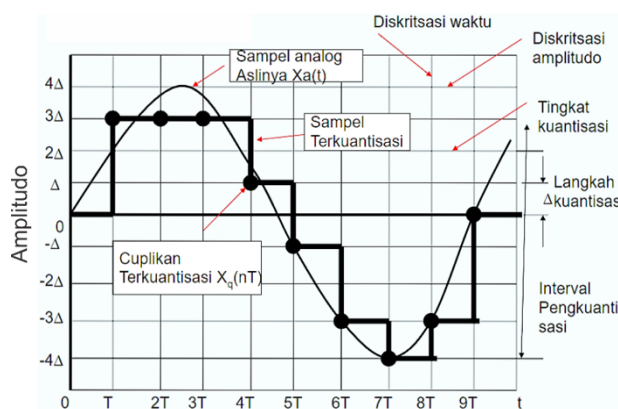
$X_q(n)$ = Deret cuplikan terkuantisasi

$Q[X(n)]$ = Proses kuantisasi

Selisih antara cuplikan $X(n)$ yang tidak terkuantisasi dan keluaran $X_q(n)$ yang terkuantisasi dinamakan kesalahan kuantisasi (*quantization error*). *Quantization error* dirumuskan sebagai berikut:

$$e_q(n) = X_q(n) - X(n) \quad \text{Persamaan 3.12}$$

Gambar 3.11 menunjukkan kuantisasi sinyal sinusoida:



Gambar 3.11. Kuantisasi sinyal sinusoida

Berikut adalah rumus langkah kuantisasi atau resolusi:

$$\Delta = \frac{X_{max} - X_{min}}{L - 1} \quad \text{Persamaan 3.13}$$

Keterangan:

Δ = Langkah kuantisasi

L = Jumlah tingkatan kuantisasi

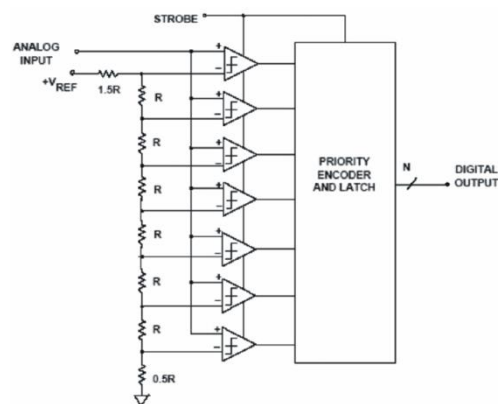
$X_{max} - X_{min}$ = Interval dinamis ($X(n)$ minimum dan maksimum)

c. Pengkodean (*Coding*)

Pengkodean adalah proses mengubah suatu besaran tertentu kedalam bentuk lain yang dikenali. Proses pengkodean pada ADC yaitu untuk menetapkan bilangan biner tertentu pada tiap tingkatan kuantisasi (Syam, 2014). Dalam hal ini, nilai driskrit yang didapat dari proses kuantisasi diubah menjadi nilai biner pada proses pengkodean. ADC memiliki beberapa prinsip dalam penggunaannya. Berikut adalah prinsip ADC yang sering digunakan:

1) Konverter Simultan atau *Flash* ADC

Tipe konverter silmutan, dikenal juga sebagai paralel ADC (konversi bisa langsung dilakukan). Karenanya, tipe ini memiliki waktu yang cepat dalam mengubah sinyal analog ke sinyal digital. Untuk menambahkan resolusi bit dibutuhkan komparator lebih banyak, dan akan memakan biaya serta daya yang tinggi. Sehingga ADC tipe ini terbatas karena sulitnya menambah resolusi bit. Gambar 3.11 menunjukkan konverter simultan atau flash ADC 3 bit:

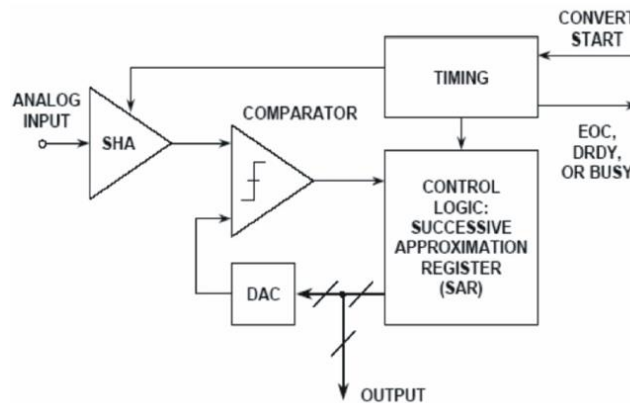


Gambar 3.11 Konverter simultan atau flash ADC

(Sumber: Assa'idah, 2008)

2) *Successive Approximation Register (SAR) ADC*

Konverter SAR memiliki resolusi yang lebih tinggi dari tipe *flash* ADC, karena jumlah bit tidak bergantung pada jumlah komparator. Keuntungan dari konverter ini adalah rangkaian lebih kecil, walaupun waktu untuk mengkonversi lebih lama dari *flash* ADC. Gambar 3.12 menunjukkan prinsip rangkaian dari SAR ADC:



Gambar 3.12. Prinsip Rangkaian dari SAR ADC

(Sumber: Assa'idah, 2008)

3) ADC Terkode Delta

Konverter ini memiliki pencacah naik dan turun yang dibutuhkan untuk pengkonversian data digital ke analog (DAC) (Nurraharjo, 2011). Sinyal masukan dan DAC masing-masing akan dialihkan kepada sebuah komparator atau pembanding. Rangkaian ini biasanya menggunakan umpan balik negatif dari komparator guna mengatur pencacahan hingga keluaran DAC cukup sesuai dengan sinyal masukan.

Pengkonversian delta memiliki batasan yang cukup besar, dan memiliki resolusi yang tinggi, tetapi waktu pengkonversian tergantung pada tingkat sinyal masukan yang sering juga memiliki tingkat kesalahan yang tinggi.

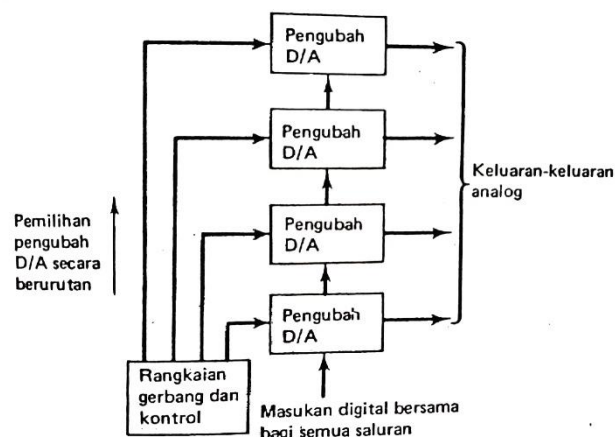
6. Multipleksing

Multipleksing adalah proses penggabungan beberapa pengukuran untuk ditransmisikan melalui lintasan sinyal yang sama. Alat ini digunakan untuk menggabungkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital atau sebaliknya sebuah saluran digital tunggal menjadi sejumlah saluran analog (William, 1985).

a. Multipleksing Digital ke Analog

Multipleksing digital ke analog adalah proses menggabungkan sejumlah sinyal digital menjadi satu saluran sinyal analog. Dalam perubahan digital ke analog suatu pemakaian multipleksing, dapat ditemui pada teknologi computer, di mana informasi digital datang secara berurutan ke komputer, lalu didistribusikan ke sejumlah alat analog seperti CRO (William, 1985). Terdapat 2 metode dalam multipleksing digital ke analog, yaitu:

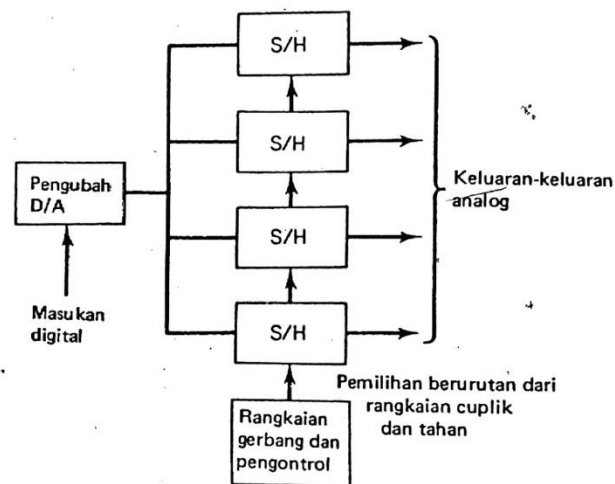
- 1) Menggunakan pengubah konverter digital ke analog yang terpisah untuk masing-masing saluran. Prinsip kerjanya, informasi digital dimasukkan secara bersamaan ke semua saluran dan pemilihan saluran dilakukan dengan membukakan pulsa-pulsa ke saluran keluaran yang sesuai. Gambar 3.13 menunjukkan multiplekser digital ke analog menggunakan beberapa pengubah:



Gambar 3.13. Multiplekser DAC menggunakan beberapa pengubah

(Sumber: William DC, 1985)

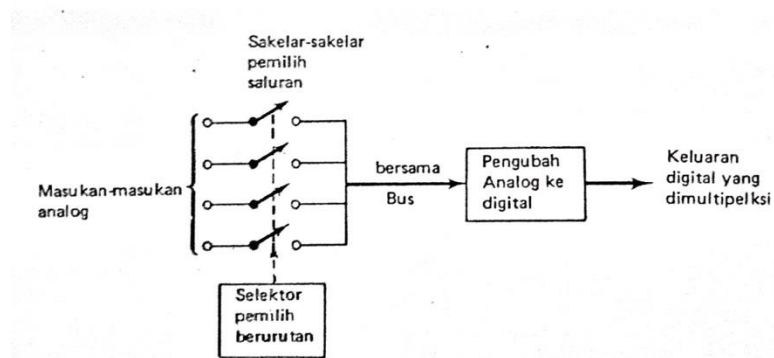
- 2) Menggunakan satu pengubah digital ke analog bersama-sama dengan satu perangkat saklar mupleksing analog dan rangkaian-rangkaian cuplik dan tahan untuk masing-masing saluran analog. Berikut adalah gambar 3.14 multiplexer digital ke analog dengan satu pengubah.



Gambar 3.14. Multiplexer DAC menggunakan satu pengubah
(Sumber: William DC, 1985)

b. Multiplexing Analog ke Digital

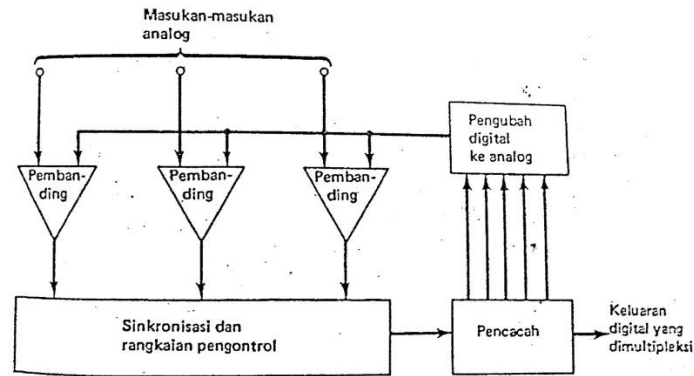
Multiplexing digital ke analog adalah proses menggabungkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital. Gambar 3.15 memperlihatkan sistem konversi analog ke digital yang termultiplexsi.



Gambar 3.15. Sistem konversi ADC yang termultiplexsi
(Sumber: William DC, 1985)

Prinsip kerjanya yaitu, sakelar digunakan untuk menghubungkan masukan-masukan analog ke sebuah bus bersama (*common bus*) atau saluran pengontrol. Kemudian bus atau saluran pengontrol menuju ke pengubah analog ke digital yang digunakan untuk semua saluran.

Ada pula multipleksi yang menggunakan sebuah pembanding terpisah untuk tiap-tiap saluran analognya, seperti yang terdapat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. Konversi ADC jenis pencacah bersama masukan termultipleksi
(Sumber: William DC, 1985)

Langkah kerjanya adalah sebagai berikut:

- 1) Masukan analog masuk melalui saluran terpisah dihubungkan ke tiap-tiap pembanding.
- 2) Pengoperasian pencacah dan pembanding, dibutuhkan sinkronisasi dan rangkaian pengontrol.
- 3) Masukan analog yang telah masuk ke sinkronisasi dan rangkaian pengontrol selanjutnya menuju ke pencacah.
- 4) Kemudian pengubah digital ke analog mengubah keluaran pencacah dan memberikan tegangan keluaran analog yang diumpankan semua ke pembanding.
- 5) Lalu bila salah satu pembanding menunjukkan bahwa keluaran digital ke analog lebih besar dari pada tegangan masukan pada saluran tersebut, maka isi pencacah akan terbaca sebagai keluaran digital.

E. Rangkuman Materi

1. Sistem akuisisi data atau biasa dikenal sebagai *Data Acquisition System* (DAS) adalah sistem instrumentasi elektronik yang bertujuan untuk melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran.
2. Konverter adalah alat bantu untuk mengubah informasi analog (yang biasa diperoleh dari besaran listrik) menjadi besaran digital diskrit dan sebaliknya dapat juga mengubah informasi digital ke dalam bentuk analog.

3. Sinyal analog adalah sinyal yang berbentuk gelombang kontinyu, yang memiliki parameter amplitude dan frekuensi.
4. Sinyal digital adalah sinyal data yang berbentuk gelombang pulsa atau kode yang dapat mengalami perubahan bentuk sinyal secara tiba-tiba dan memiliki besaran 0 dan 1.
5. *Digital to Analog Converter* (DAC) adalah alat yang berfungsi untuk mengubah besaran digital menjadi besaran analog, metode yang sering digunakan DAC ada 2, yaitu metode *Binary Weighted Resistor* dan metode *R/2R Ladder*.
6. *Analog to digital converter* (ADC) adalah sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran analog menjadi besaran digital.
7. ADC terbagi menjadi 3 langkah, yaitu pencuplikan (*sampling*), kuantisasi, dan pengkodean.
8. Multiplexing adalah alat yang digunakan untuk menggabungkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital atau sebaliknya sebuah saluran digital tunggal menjadi sejumlah saluran analog.

F. Tugas

Buatlah rangkuman tentang jenis-jenis dan prinsip kerja ADC dan DAC!

G. Tes Formatif

1) Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal pilihan ganda berikut ini!

1. Sistem akuisisi data digunakan untuk mengukur dan mencatat sinyal yang berasal dari pengukuran listrik dan sinyal yang berasal dari transduser. Dari pilihan jawaban berikut, pilihlah contoh sinyal yang berasal dari transduser!
 - a. *Strain gauge*
 - b. Frekuensi
 - c. Tahanan
 - d. Tegangan AC
2. Sinyal terbagi menjadi 2 jenis, yaitu jenis sinyal analog dan sinyal digital. Apa yang dimaksud dengan sinyal digital?
 - a. Sinyal digital adalah sinyal yang berbentuk gelombang kontinyu
 - b. Sinyal digital adalah sinyal yang berbentuk gelombang sinus

- c. Sinyal digital adalah sinyal yang memiliki parameter amplitude dan frekuensi
 - d. Sinyal digital adalah sinyal yang berbentuk gelombang pulsa atau kode
3. Dalam penerapannya *digital analog converter* (DAC) memiliki 2 metode yang umum digunakan. Apa saja 2 metode DAC tersebut?
- a. *Successive Approximation Register* (SAR) dan *R/2R Ladder*
 - b. *R/2R Ladder* dan *Binary Weighted Resistor*
 - c. *Binary Weighted Resistor* dan *Successive Approximation Register* (SAR)
 - d. *Successive Approximation Register* (SAR) dan Konverter Simultan
4. Terdapat 3 langkah *analog digital converter* (ADC). Apa saja 3 langkah tersebut?
- a. Pencuplikan, Kuantisasi, dan Pengkodean
 - b. Pencuplikan, Sampling, dan Pengkodean
 - c. Pencuplikan, Coding, dan Pengkodean
 - d. Pencuplikan, Kuantisasi, dan Filter
5. Apa yang dimaksud dengan multipleksing?
- a. Multipleksing adalah alat digunakan untuk menggabungkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital.
 - b. Multipleksing adalah alat digunakan untuk menggabungkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital atau sebaliknya.
 - c. Multipleksing adalah alat digunakan untuk menggabungkan sejumlah sinyal digital menjadi satu saluran sinyal analog.
 - d. Multipleksing adalah alat digunakan untuk memisahkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital atau sebaliknya.

2) Essay

1. Jelaskan secara singkat prinsip kerja Analog to Digital Converter (ADC) !
2. Jelaskan secara singkat prinsip kerja Digital to Analog Converter (ADC) !
3. Jelaskan yang dimaksud dengan multipleksing !

H. Glosarium

Istilah	Pengertian
Sistem Akuisisi Data	Sistem instrumentasi elektronik yang bertujuan untuk melakukan pengukuran, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran
<i>Analog to Digital Converter</i> (ADC)	Sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran analog menjadi besaran digital
<i>Digital to Analog Converter</i> (DAC)	Sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran digital menjadi besaran analog
Multiplexing atau <i>Multiplexing</i>	Alat yang digunakan untuk menggabungkan sejumlah sinyal analog menjadi satu saluran sinyal digital atau sebaliknya sebuah saluran digital tunggal menjadi sejumlah saluran analog

I. Daftar Pustaka

1. Amalia, R. (2013). *Pengkonversian Data Analog Menjadi Data Digital Dan Data Digital Menjadi Data Analog Menggunakan Interface PPI 8255 Dengan Bahasa Pemrograman BORLAND DELPHI 5 . 0. 6(2)*, 168–179.
2. Assa'idah. (2008). *Investigasi Terhadap Kemampuan 2 Tipe ADC*. 12, 1–5.
3. Haryono, A. (2016). *Pengkondisi Sinyal dan Akuisisi Data Sensor Tekanan*. 19(2).
4. Indrasary, Y. (2016). *Simulasi akuisisi data sinyal audio*. 5(2), 75–84.
5. Nurraharjo, E. (2011). *Analisis Model Akuisisi Data Terhadap Piranti Analog to Digital (ADC)*. 73–78.
6. Saludin Muis. (2012). *Teknik Digital Dasar*. Jakarta: Graha Ilmu.
7. Syam, E. (2014). *Analisa dan Implementasi Transformasi Analog to Digital Converter (ADC) untuk Mengkonversi Suara Kebentuk Teks*.
8. William, D.C. (1985). *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran* (2nd ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.

BAB IV

JENIS DAN FUNGSI SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran

1. Mampu memahami jenis sensor dan transduser.
2. Mampu memahami fungsi sensor dan transduser.

B. Sub Capaian Pembelajaran

1. Mampu menjelaskan berbagai jenis sensor dan transduser.
2. Mampu menjelaskan berbagai fungsi sensor dan transduser.
3. Mampu mengaplikasikan sensor dan transduser dalam rangkaian elektronika.

C. Pokok-Pokok Materi (Peta Konsep)

1. Sensor dan transduser perpindahan
2. Sensor dan transduser termal
3. Sensor dan transduser radiasi
4. Sensor dan transduser gelombang suara
5. Sensor dan transduser aliran fluida
6. Sensor dan transduser gas dan partikel mikro

D. Uraian Materi

Dalam berbagai kegiatan, setiap harinya manusia di kelilingi oleh berbagai jenis transduser. Transduser-transduser tersebut membantu manusia untuk melakukan kegiatan sehari-hari seperti bekerja, belajar, memasak dan segala macam aktivitas. Contoh transduser dalam kehidupan sehari-hari yaitu:

1. *Antena* adalah transduser paling dasar dan dapat dibuat dari sepotong kawat sederhana. Ia mengubah energi elektromagnetik menjadi listrik ketika menerima sinyal dan melakukan yang sebaliknya ketika mentransmisikannya.
2. *Strain gauges* memiliki kawat tipis panjang yang menempel pada penahan foil yang direkatkan pada suatu objek. Ketika objek berubah bentuk, pengukur regangan juga berubah bentuk dan ketahanannya berubah. Jumlah tegangan atau regangan pada objek dihitung dari perubahan resistansi ini.

3. *Accelerometer* yang mengubah perubahan posisi massa menjadi sinyal listrik. Accelerometer mengukur kekuatan akselerasi dan deselerasi. Akselerometer digunakan dalam *air bag* mobil, kontrol stabilitas, *hard drive*, dan banyak *gadget* elektronik.

1. Transduser Perpindahan

Transduser perpindahan memiliki rentang kerja beberapa mikrometer hingga beberapa meter. Responsivitas transduser perpindahan bervariasi dari kisaran 1 V/m hingga 10^5 V/m atau lebih. Transduser perpindahan secara umum dibagi menjadi transduser perpindahan elektrik yang melibatkan resistansi (R), kapasitansi (C) dan induktansi (L), dan transduser perpindahan optikal yang menggunakan piringan dengan pola hitam putih yang biasanya membentuk pola digital (Usher, 1985).

a. Transduser Gerak Translasi

Transduser perpindahan translasi berhubungan dengan gerakan benda antara dua titik. Selain penggunaannya sebagai transduser primer yang mengukur gerakan, transduser perpindahan translasi juga digunakan sebagai komponen sekunder dalam sistem pengukuran sejumlah objek fisik lainnya seperti tekanan, gaya, akselerasi atau suhu dengan menerjemahkan gerakan translasi oleh transduser pengukuran utama. Ada berbagai jenis transduser perpindahan translasi bersama dengan kelebihan dan karakteristik relatifnya.

1) Potensiometer Geser

Potensiometer Geser (ditunjukkan pada Gambar 4.1) merupakan transduser perpindahan yang paling umum. Transduser ini terdiri dari elemen resistensi dengan kontak bergerak. Tegangan V_s diterapkan pada dua ujung A dan B dari elemen resistensi dan tegangan output V_0 diukur antara titik kontak C dari elemen geser dan ujung dari elemen resistensi A yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hubungan linear ada antara tegangan output V_0 dan jarak AC, yang dapat dinyatakan oleh:

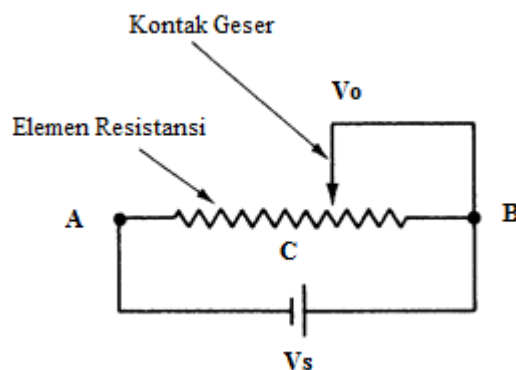
$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{AC}{AB}$$

Prinsip transduser posisi resistif adalah bahwa kuantitas yang diukur (yaitu posisi suatu objek, atau jarak yang telah dipindahkan) menyebabkan perubahan resistansi pada elemen pengindraan. Ada tiga jenis potensiometer, yaitu *wire-wound*, film karbon dan

film plastik, yang dinamai sesuai dengan bahan yang digunakan untuk membangun elemen resistensi.



Gambar 0.1 Potensiometer Geser (Slider)



Gambar 0.2 Skema Cara Kerja Potensiometer Geser

2) Sensor Proximity Kapasitif

Sensor proximity kapasitif (ditunjukkan pada Gambar 4.3) merupakan sensor elektronika yang bekerja berdasarkan konsep kapasitif. Sensor jarak kapasitif bekerja dengan menghasilkan medan elektrostatik. Sakelar jarak kapasitif akan mendeteksi benda logam serta bahan non logam seperti kertas, gelas, cairan, dan kain. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan muatan energi listrik yang dapat disimpan oleh sensor akibat perubahan jarak lempeng, perubahan luas penampang dan perubahan volume dielektrikum sensor kapasitif tersebut. Konsep kapasitor yang digunakan dalam sensor kapasitif adalah proses menyimpan dan melepas energi listrik dalam bentuk muatan-muatan listrik pada kapasitor yang dipengaruhi oleh luas permukaan, jarak dan bahan dielektrikum.

Permukaan penginderaan dari sensor kapasitif dibentuk oleh dua elektroda logam berbentuk konsentris dari kapasitor yang tidak digulung. Ketika sebuah objek mendekati permukaan penginderaan, objek tersebut memasuki medan elektrostatik elektroda dan

mengubah kapasitansi dalam rangkaian osilator. Akibatnya, osilator mulai berosilasi. Sirkuit pemacu membaca amplitudo osilator dan ketika mencapai tingkat tertentu keadaan output dari sensor berubah. Saat target menjauh dari sensor, amplitudo osilator berkurang, mengalihkan output sensor kembali ke keadaan semula.

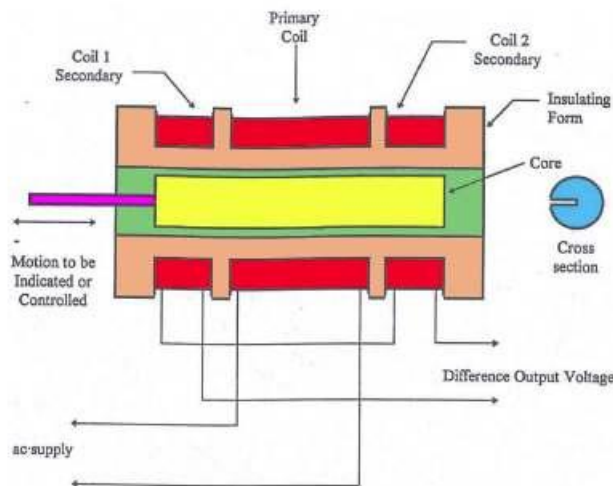


Gambar 0.3 Sensor Proximity Kapasitif

(Sumber: Guru Pembelajar Modul Pelatihan Guru, 2016)

3) Linear Variable-Differential Transformer (LVDT)

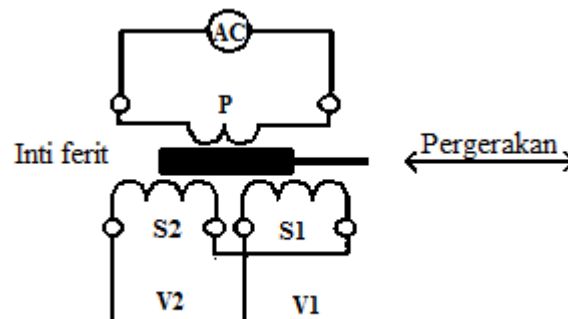
Transduser induktif pasif membutuhkan sumber daya eksternal. Transformator diferensial adalah transformator induktif pasif, yang dikenal sebagai *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*. Pada dasarnya terdiri dari lilitan primer dan dua lilitan sekunder, gulungan di atas tabung berlubang dan diposisikan sedemikian rupa sehingga lilitan primer berada di antara dua lilitan sekundernya.



Gambar 0.4 Ilustrasi LVDT

Prinsip kerja LVDT (ditunjukkan pada Gambar 4.4) yaitu inti besi meluncur di dalam tabung dan mempengaruhi kopling magnetik antara lilitan primer dan dua lilitan sekunder. Ketika inti berada di tengah, tegangan yang diinduksi dalam dua detik adalah sama. Ketika inti digerakkan ke satu arah pusat, tegangan yang diinduksi dalam satu

lilitan meningkat dan yang lain menurun. Gerakan dalam arah yang berlawanan membalikkan efek tersebut.



Gambar 0.5 Skema LVDT

Pada Gambar 4.5, lilitan terhubung 'seri yang berlawanan' -yaitu polaritas V1 dan V2 saling berlawanan. Akibatnya, ketika inti berada di tengah sehingga $V1 = V2$, tidak ada output tegangan, $V_o = 0V$. Ketika inti dipindahkan satu arah dari pusat, tegangan yang diinduksi dalam satu lilitan meningkat dan bahwa yang lain menurun. Gerakan dalam arah yang berlawanan membalikkan efek.

Kelebihan LVDT yaitu menghasilkan tegangan output tinggi untuk perubahan kecil dalam posisi inti, biaya rendah, padat dan kuat - mampu bekerja di berbagai lingkungan, Tidak ada kerusakan permanen pada LVDT jika pengukuran melebihi kisaran yang dirancang.

4) Sensor proximity induktif

Memanfaatkan medan elektromagnetik untuk mendeteksi benda logam yang ada didekatnya. Secara sederhana sensor proximity induktif hanya sensor *switch* yang memberikan logika *true* jika mendeteksi logam di dekatnya tapi ada juga jenis yang membutuhkan pulsa, artinya sensor ini harus mendeteksi *object* (logam) berulang-ulang kali agar dapat menghasilkan pulsa dengan nilai frekuensi yang sama atau lebih besar dari setting frekuensi *threshold*-nya baru kemudian akan memberikan logika 1.

Sensor proximity induktif digunakan untuk mendeteksi benda logam yang non-kontak. Prinsip operasi sensor didasarkan pada koil dan osilator yang menciptakan medan elektromagnetik di sekitar permukaan penginderaan. Kehadiran objek logam di area operasi menyebabkan peredaman amplitudo osilasi. Naik atau turunnya osilasi seperti itu diidentifikasi oleh rangkaian ambang yang mengubah output sensor. Jarak pengoperasian sensor tergantung pada bentuk dan ukuran objek logam dan sangat terkait dengan sifat material.

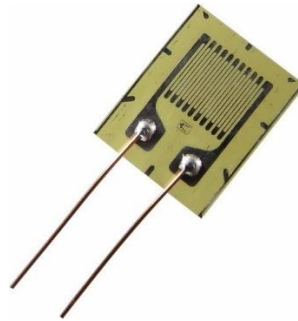


Gambar 0.6 Proximity Induktif

(Sumber: Guru Pembelajar Modul Pelatihan Guru, 2016)

5) Strain Gauge

Strain Gauge adalah contoh dari transduser pasif yang menggunakan variasi hambatan listrik pada kabel untuk penginderaan regangan yang dihasilkan oleh gaya pada kawat. Strain gauge adalah detektor dan transduser yang sangat serbaguna untuk mengukur berat, tekanan, gaya mekanik atau perpindahan. Konstruksi *strain gauge* terdiri atas kawat halus yang dililitkan bolak-balik pada pelat pemasangan, yang biasanya rekatkan pada elemen yang mengalami tekanan.



Gambar 0.7 Strain Gauge

Dari persamaan resistensi,

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

Keterangan:

R = resistensi

ρ = resistensi spesifik dari bahan konduktor

L = panjang konduktor dalam meter

A = luas konduktor dalam meter persegi

Ketika regangan yang dihasilkan oleh gaya diterapkan pada penampang kawat, L meningkat dan A menurun.

Strain gauge - faktor gauge

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

Keterangan:

K = faktor gauge

R = resistansi awal dalam ohm (tanpa regangan)

ΔR = perubahan resistansi awal dalam ohm

L = panjang awal dalam meter (tanpa regangan)

ΔL = perubahan panjang awal dalam meter

Karena $\Delta L/L$ adalah regangan maka,

$$K = \frac{\Delta R/R}{G}$$

Di mana G = Regangan

Untuk banyak bahan umum, ada rasio konstan antara tegangan (stress) dan regangan. Stress didefinisikan sebagai gaya internal per satuan luas.

$$S = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

S = stress dalam kilogram per meter persegi

F = gaya dalam kilogram

A = luas dalam meter persegi

Modulus Young

Konstanta proporsionalitas antara tegangan dan regangan untuk kurva dikenal sebagai modulus elastisitas bahan

$$E = \frac{S}{G}$$

Keterangan:

E = Modulus Young dalam kilogram per meter persegi

S = stres dalam kilogram per meter persegi

G = regangan (tidak ada satuan)

Output dari rangkaian *strain gauge* adalah sinyal tegangan level sangat rendah yang membutuhkan sensitivitas 100 mikrovolt atau lebih baik. Tingkat sinyal yang

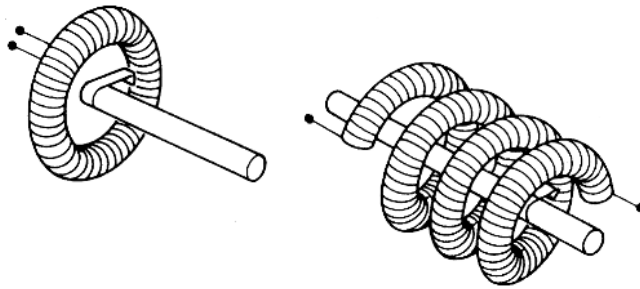
rendah membuatnya sangat rentan terhadap kebisingan yang tidak diinginkan dari perangkat listrik lainnya. Kopling kapasitif yang disebabkan oleh kabel kawat timah yang berjalan terlalu dekat dengan kabel daya AC atau arus arde merupakan sumber kesalahan potensial dalam pengukuran regangan. Sumber kesalahan lain mungkin termasuk voltase yang diinduksi secara magnetis ketika kawat timah melewati medan magnet variabel, resistensi kontak parasit dari kawat timah, kegagalan isolasi, dan efek termokopel di persimpangan logam yang berbeda. Jumlah dari gangguan tersebut dapat mengakibatkan degradasi sinyal yang signifikan.

b. Transduser Gerak Rotasi

1) Potensiometer melingkar dan heliks

Potensiometer melingkar merupakan perangkat termurah yang tersedia untuk mengukur perpindahan rotasi. Potensiometer melingkar bekerja dengan prinsip yang hampir sama persis dengan potensiometer gerak translasi, yang membedakan yaitu jalur (*track*) dibengkokkan menjadi bentuk lingkaran. Rentang pengukuran masing-masing perangkat bervariasi dari 0–10 ° hingga 0–360 ° tergantung pada apakah jalur membentuk lingkaran penuh atau hanya sebagian dari lingkaran. Potensiometer heliks digunakan pada rentang pengukuran yang lebih besar 360 °, pada perangkat tertentu dapat mengukur hingga 60 putaran penuh (Morris, 2001).

Potensiometer heliks mengakomodasi beberapa putaran lintasan dengan membentuk lintasan menjadi bentuk heliks. Namun, kompleksitas mekanisnya yang lebih besar membuat perangkat secara signifikan lebih mahal daripada potensiometer melingkar. Dua bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.8. Kedua jenis perangkat memberikan hubungan linier antara kuantitas yang diukur dan pembacaan output karena tegangan output yang diukur pada kontak geser sebanding dengan perpindahan sudut slider dari posisi awalnya. Namun, seperti halnya potensiometer jalur linier, semua potensiometer rotasi dapat memberikan masalah kinerja karena debu/kotoran di jalur yang menyebabkan hilangnya kontak. Mereka juga memiliki umur yang terbatas karena aus di antara permukaan geser.



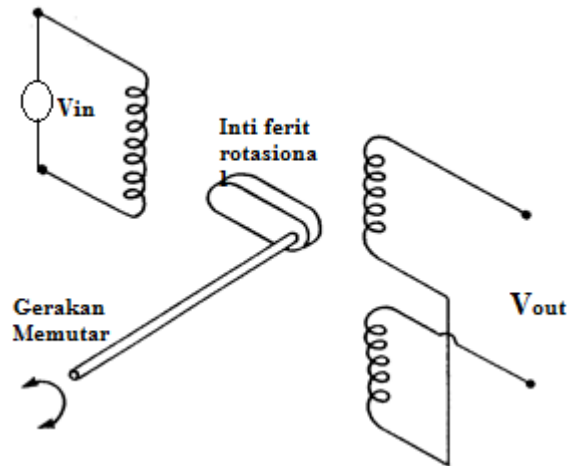
Gambar 0.8 Potensiometer Rotasi dan Potensiometer Heliks



Gambar 0.9 Potensiometer Rotasi

2) *Rotational Differential Transformer*

Rotational Differential Transformer adalah transformator diferensial yang memiliki bentuk khusus yang mengukur gerakan rotasi daripada gerak translasi (Morris, 2001). Metode konstruksi dan hubungan lilitan persis sama dengan untuk *transformator diferensial variabel linier* (LVDT), hanya saja inti ferit yang berbentuk khusus digunakan yang memvariasikan induktansi timbal balik antara lilitan saat berputar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Seperti halnya LVDT, *Rotational Differential Transformer* tidak mengalami keausan dalam pengoperasian dan karenanya memiliki usia yang sangat panjang dengan hampir tidak ada persyaratan perawatan. *Rotational Differential Transformer* juga dapat dimodifikasi untuk operasi di lingkungan yang keras dengan melilitkan belitan di dalam selungkup pelindung.



Gambar 0.10 Skema *Rotational Differential Transformer*



Gambar 0.11 Rotational Differential Transformer

3) Incremental Shaft Encoders

Encoders poros inkremental (*Incremental shaft encoders*) adalah salah satu kelas perangkat encoder yang memberikan *output* dalam bentuk digital. Perangkat ini mengukur posisi sudut sesaat dari poros relatif terhadap beberapa titik datum yang berubah-ubah, tetapi tidak dapat memberikan indikasi tentang posisi absolut poros. Prinsip operasi adalah untuk menghasilkan pulsa sebagai poros yang perpindahannya sedang diukur berputar. Pulsa-pulsa ini dihitung dan rotasi sudut total disimpulkan dari jumlah pulsa. Pulsa dihasilkan baik dengan cara optik atau magnetik dan dideteksi oleh sensor yang sesuai. Dari keduanya, sistem optik jauh lebih murah dan karenanya jauh lebih umum. Instrumen tersebut sangat nyaman untuk aplikasi kontrol komputer, karena pengukurannya sudah dalam bentuk digital yang diperlukan dan oleh karena itu proses konversi sinyal analog ke digital biasa dihindari (Morris, 2001).



Gambar 0.12 Enkoder Poros Inkremental Optik

Contoh enkoder poros inkremental optik ditunjukkan pada Gambar 4.12. Dapat dilihat bahwa instrumen terdiri dari sepasang cakram, salah satunya dipasangkan dan yang lainnya berputar dengan tubuh yang perpindahan sudutnya sedang diukur. Setiap *disk* pada dasarnya buram tetapi memiliki pola jendela yang memotongnya. Disk yang tetap hanya memiliki satu jendela dan sumber cahaya sejajar dengan ini sehingga cahaya bersinar sepanjang waktu. Disk kedua memiliki dua jalur jendela yang dipotong dengan jarak yang sama di sekitar disk. Dua detektor cahaya diposisikan di luar disk kedua sehingga satu selaras dengan masing-masing jalur jendela. Saat *disk* kedua berputar, lampu secara bergantian masuk dan tidak masuk ke detektor, karena jendela dan daerah buram *disk* lewat di depannya. Denyut cahaya ini diumpankan ke penghitung, dengan jumlah akhir setelah gerakan berhenti sesuai dengan posisi sudut benda yang bergerak relatif terhadap posisi awal. Informasi utama tentang besarnya rotasi diperoleh oleh detektor yang selaras dengan jalur luar jendela. Namun, jumlah pulsa yang diperoleh dari ini tidak memberikan informasi tentang arah rotasi. Informasi arah disediakan oleh jalur jendela kedua, yang memiliki perpindahan sudut sehubungan dengan set luar jendela dengan lebar setengah jendela. Denyut nadi dari detektor selaras dengan jalur dalam jendela karena itu tertinggal atau memimpin set pulsa primer sesuai dengan arah rotasi

Encoder poros inkremental optik adalah instrumen yang populer untuk mengukur perpindahan sudut relatif dan sangat andal. Encoder poros inkremental optik juga umum digunakan dalam keadaan di mana perpindahan translasi telah ditransformasikan menjadi rotasi dengan *gearing* yang sesuai. Salah satu contoh praktik ini adalah dalam mengukur gerakan translasi dalam mesin bor yang dikontrol secara numerik (NC).

Gearing khusus yang digunakan untuk ini akan memberikan satu revolusi per mm perpindahan translasi. Dengan menggunakan enkoder poros tambahan dengan 1000 jendela per trek dalam pengaturan seperti itu, resolusi pengukuran 1 mikron diperoleh.

4) **Coded-Disc Shaft Encoders**

Tidak seperti encoder poros inkremental yang memberikan output digital dalam bentuk pulsa yang harus dihitung, encoder poros digital memiliki output dalam bentuk angka biner dari beberapa digit yang menyediakan pengukuran absolut posisi poros (Morris, 2001).



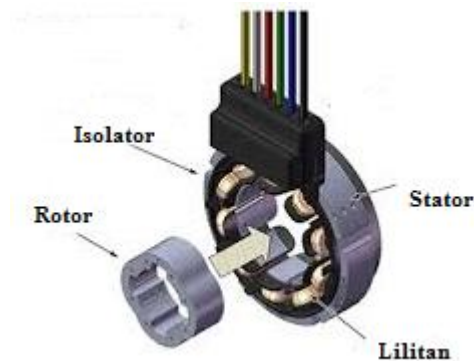
Gambar 0.13 *Coded-Disc Shaft Encoders*

Encoder digital memberikan akurasi dan keandalan yang tinggi. Mereka sangat berguna untuk aplikasi kontrol komputer, tetapi mereka memiliki biaya yang jauh lebih tinggi daripada encoders tambahan. Ada tiga bentuk berbeda, masing-masing menggunakan sistem energi optik, listrik, dan magnetik.

5) **Resolver**

Resolver atau juga dikenal sebagai resolver-sinkronisasi, adalah perangkat elektromekanis yang memberikan keluaran analog dengan aksi transformator. Secara fisik, *resolver* menyerupai motor a.c. dan memiliki diameter mulai dari 10 mm hingga 100 mm (Morris, 2001). *Resolver* tanpa gesekan dan dapat diandalkan dalam operasi karena mereka tidak memiliki permukaan kontak bergerak, dan sehingga resolver memiliki umur yang panjang. *Resolver* memberikan resolusi pengukuran 0,1%, memiliki dua lilitan stator, yang dipasang pada sudut kanan satu sama lain, dan sebuah rotor, yang dapat memiliki satu atau dua lilitan. Saat posisi sudut rotor berubah, tegangan

output berubah. Konfigurasi resolver yang lebih sederhana dengan hanya satu lilitan pada rotor diilustrasikan pada Gambar 4.14. *Resolver* ada dalam dua bentuk terpisah yang dibedakan menurut apakah tegangan keluaran berubah dalam amplitudo atau perubahan fasa ketika rotor berputar relatif terhadap lilitan stator.



Gambar 0.14 Konfigurasi Resolver

6) *Sycro*

Sycro adalah perangkat elektromekanis seperti motor dengan output analog. *Sycro* memiliki tiga lilitan stator, instrumen ini memiliki penampilan dan operasi yang sama dengan resolver dan memiliki rentang dimensi fisik yang sama. Rotor *sycro* memiliki bentuk *dumb-bell* seperti resolver dan memiliki satu atau dua lilitan. *Sycro* digunakan untuk pengukuran posisi sudut, terutama dalam aplikasi militer, mencapai tingkat akurasi dan resolusi pengukuran yang sama dengan encoders digital.

Salah satu aplikasi yang umum adalah pengukuran sumbu pada peralatan mesin, di mana gerakan translasi alat diterjemahkan ke dalam perpindahan rotasi dengan *gearing* yang sesuai. *Sychro* tahan terhadap suhu tinggi, kelembaban tinggi, guncangan dan getaran sehingga cocok untuk operasi dalam kondisi lingkungan yang keras. Masalah perawatan pada *sychro* yaitu ring slip dan sistem sikat yang digunakan untuk memasok daya ke rotor.

7) **Potensiometer Induksi**

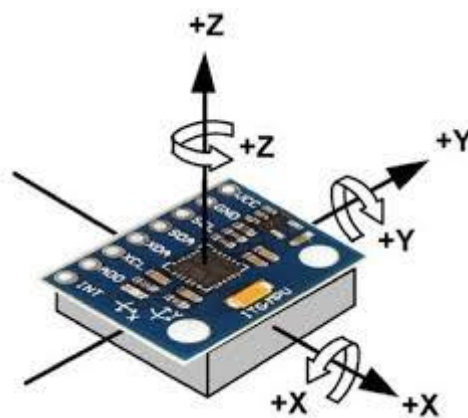
Instrumen ini termasuk kelas yang sama dengan *resolver* dan sinkronisasi tetapi hanya memiliki satu lilitan rotor dan satu lilitan stator. Potensiometer Induksi memiliki ukuran dan penampilan yang mirip dengan perangkat lain di kelas (Morris, 2001). Eksitasi fase tunggal sinusoidal diterapkan pada lilitan rotor dan ini menyebabkan tegangan keluaran pada lilitan stator melalui induktansi timbal balik yang menghubungkan kedua lilitan. Besarnya tegangan stator yang diinduksi ini bervariasi

dengan rotasi rotor. Variasi output dengan rotasi secara alami sinusoidal jika kumparan loka sedemikian rupa sehingga bidang mereka terkonsentrasi pada satu titik, dan hanya kunjungan kecil dapat dibuat jauh dari posisi nol jika hubungan output tetap sekitar linier. Namun, jika lilitan rotor dan stator didistribusikan di sekitar keliling dengan cara khusus, hubungan yang kira-kira linier untuk perpindahan sudut hingga 90° dapat diperoleh.

8) Girooskop

Girooskop (*gyroscope*) mengukur perpindahan sudut absolut dan kecepatan sudut absolut. Dominasi girooskop mekanik, roda berputar di pasar kini ditantang oleh girooskop optik yang baru diperkenalkan.

Girooskop mekanik pada dasarnya terdiri dari roda besar yang digerakkan motor yang momentum sudutnya sedemikian rupa sehingga sumbu rotasi cenderung tetap melekat di ruang angkasa, sehingga bertindak sebagai titik referensi. Bingkai *gyro* melekat pada tubuh yang gerakannya harus diukur. Output diukur dari sudut antara bingkai dan sumbu roda pemintalan. Dua bentuk girooskop mekanik yang berbeda digunakan untuk mengukur perpindahan sudut, gyro bebas, dan gyro pengintegrasian laju. Jenis ketiga dari girooskop mekanik, laju giro, mengukur kecepatan sudut.



Gambar 0.15 Sensor Girooskop

9) Tachometer



Gambar 0.16 Tachometer

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin. Kata tachometer berasal dari kata Yunani *tachos* yang berarti kecepatan dan *metron* yang berarti untuk mengukur. Fungsi dari Tachometer adalah digunakan untuk mengukur putaran pada sebuah mesin, khususnya jumlah putaran yang sedang dilakukan oleh sebuah poros dalam satuan waktu dan ini biasanya dipakai untuk peralatan kendaraan bermotor. Biasanya mempunyai layar yang menunjukkan kecepatan putaran per menitnya. Berbagai jenis sensor digunakan, seperti optik, induktif dan magnetik. Karena pada setiap tanda yang dideteksi, maka pulsa dihasilkan sebagai input ke penghitung pulsa elektronik. Biasanya, kecepatan jumlah pulsa dihitung dalam satuan waktu, yang menghasilkan informasi tentang kecepatan rata-rata. Jika kecepatannya berubah, kecepatan sesaat dapat dihitung pada setiap saat waktu ketika pulsa keluaran terjadi. Dalam sirkuit ini, pulsa dari gerbang transduser menghasilkan pulsa dari clock 1 MHz ke penghitung. Logika kontrol me-reset penghitung dan memperbarui nilai output digital setelah menerima setiap pulsa dari transduser. Resolusi pengukuran sistem ini adalah tertinggi ketika kecepatan rotasi rendah.

Tachometer analog kurang akurat dibandingkan dengan tachometer digital, tetapi masih digunakan di banyak aplikasi. D.C. tachometer memiliki keluaran yang kira-kira sebanding dengan kecepatan putarannya. Struktur dasarnya identik dengan yang ada pada standar generator DC yang digunakan untuk menghasilkan daya. Kedua tipe magnet permanen dan tipe medan ter-eksitasi digunakan terpisah. Namun, beberapa aspek disain dioptimalkan untuk meningkatkan akurasinya sebagai instrumen pengukur

kecepatan. Salah satu modifikasi disain yang signifikan adalah mengurangi bobot rotor dengan membuat lilitan pada cangkang kerang berongga. Efek dari ini adalah untuk meminimalkan efek pemuatan instrumen pada sistem yang sedang diukur. Tegangan DC keluaran dari instrumen adalah relatif tinggi, memberikan sensitivitas pengukuran tinggi yang biasanya 5 volt per 1000 rpm. Arah rotasi ditentukan oleh polaritas tegangan output. Rentang pengukuran yang umum adalah 0–6000 rpm. Non-linearitas maksimum biasanya sekitar 1% dari pembacaan skala penuh. Satu masalah dengan perangkat ini yang dapat menyebabkan kesulitan dalam beberapa keadaan adalah keberadaan riak AC dalam sinyal output, besarnya ini bisa hingga 2% dari output DC.

Ada beberapa macam cara untuk mengukur kecepatan putar pada suatu sistem secara kontinu, misalnya dengan magnetik *pick-up* atau tacho-generator dan yang paling sederhana yaitu dengan memakai proximity switch dan pulsa meter.

$$\text{RPM} = f \times a \text{RPM} = f \times 60/N$$

Di mana :

RPM : Kecepatan putaran (RPM)

F : Frekuensi pulsa (Hz)

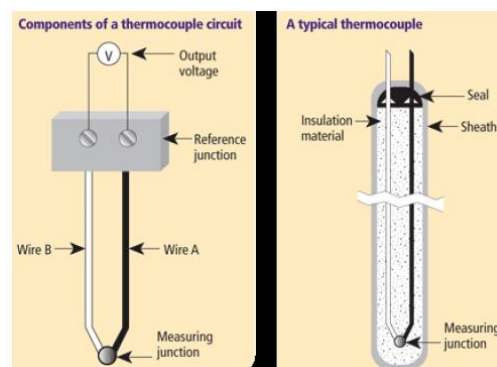
N : Jumlah pulsa dalam satu putaran

a : Nilai skala yang terdiri dari mantisa dan exponent.

2. Transduser Termal

Sensor termal adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas/temperatur/suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu (Widiyantoro, 2013).

a. Termokopel



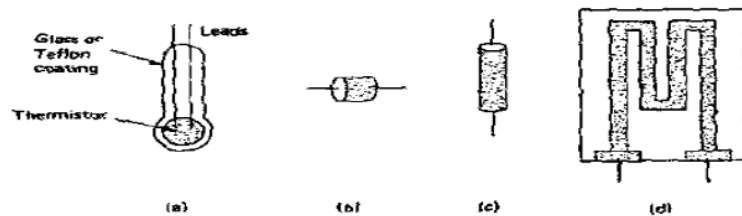
Gambar 0.17 Sensor Termokopel

(Sumber: Guru Pembelajar Modul Pelatihan Guru, 2016)

Pada Gambar 4.17. memiliki fungsi sebagai sensor suhu rendah dan tinggi, yaitu suhu serendah 300°F sampai dengan suhu tinggi yang digunakan pada proses industri baja, gelas dan keramik yang lebih dari 3000°F. Prinsip kerja termokopel yaitu jika salah satu bagian pangkal lilitan dipanasi, maka pada kedua ujung penghantar yang lain akan muncul beda potensial (*emf*). Termokopel ditemukan oleh Thomas Johan Seebeck tahun 1820 dan dikenal dengan Efek Seebeck (Widiyantoro, 2013). Sensor suhu termokopel memiliki nilai output yang kecil pada kondisi level *noise* yang tinggi, sehingga memerlukan pengkondisi sinyal agar nilai output tersebut dapat dibaca (Karim, 2016).

b. Termistor

Termistor adalah alat semikonduktor yang berkelakuan sebagai tahanan dengan koefisien tahanan temperatur yang tinggi, yang biasanya negatif. Umumnya tahanan termistor pada temperatur ruang dapat berkurang 6% untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C. sehingga termistor sangat sesuai untuk pengukuran, pengontrolan dan kompensasi temperatur secara presisi (Widiyantoro, 2013). Gambar 4.18 mendeskripsikan konfigurasi termistor.



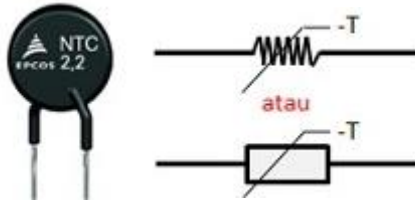
Gambar 0.18 Konfigurasi Termistor

(Sumber Media Pembelajaran Sensor dan Transduser, 2013)

Berdasarkan Koefisien suhunya, termistor dibedakan menjadi 2 jenis yang berbeda, yaitu :

1) *NTC (Negative Temperature Coeficient)*

Merupakan thermistor yang mempunyai koefisien negatif, artinya perbandingan antara suhu dengan resistansinya berbanding terbalik. jika resistansi meningkat maka suhu akan menurun dan sebaliknya. Bentuk fisik dan simbol dari *NTC* dapat dilihat pada Gambar 4.19.

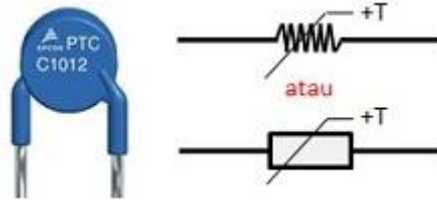


Gambar 0.19 Bentuk Fisik dan Simbol NTC

(Sumber: Guru Pembelajar Modul Pelatihan Guru, 2016)

2) PTC (*Positive Temperature Coefficient*)

Merupakan Thermistor yang memiliki koefisien positif, yaitu antara suhu dengan resistansinya sebanding. Jika resistansinya naik maka suhunya juga akan mengalami kenaikan juga, begitupun sebaliknya. Bentuk fisik dan simbol dari *PTC* dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 0.20 Bentuk Fisik dan Simbol PTC

(Sumber: Guru Pembelajar Modul Pelatihan Guru, 2016)

3) RTD (*Resistance Temperature Detector*)



Gambar 0.21 Sensor RTD

RTD (*Resistance Temperature Detector*) pada dasarnya adalah resistor yang peka terhadap suhu. Ini adalah perangkat koefisien suhu positif, yang berarti bahwa resistansi meningkat dengan suhu. Sifat resistif logam disebut resistivitasnya. Properti

resistif mendefinisikan panjang dan luas penampang yang diperlukan untuk membuat RTD dari nilai yang diberikan. Resistansi sebanding dengan panjang dan berbanding terbalik dengan luas penampang.

$$R = \frac{r \times L}{A}$$

Di mana

R = Perlawanan (ohm)

r = Tahanan (ohm)

L = Panjang

A = Cross Sectional Area

Resistance Temperature Detectors (RTD's) sering digunakan dalam industri plastik dan banyak lainnya ([Thermo Sensor Corp., 2013](#)).

RTD adalah perangkat yang berisi sumber resistansi listrik (disebut sebagai "elemen penginderaan") yang mengubah nilai resistansi tergantung pada suhunya. Perubahan resistensi dengan suhu ini dapat diukur dan digunakan untuk menentukan suhu suatu proses atau bahan. Elemen sensor RTD datang dalam dua gaya dasar, kawat-luka dan film. Elemen luka kawat mengandung panjang kawat berdiameter sangat kecil (biasanya berdiameter .0005 hingga .0015 inci) yang dililitkan ke dalam kumparan dan dikemas di dalam mandrel keramik, atau luka di sekitar bagian luar rumah keramik dan dilapisi dengan bahan isolasi. Kabel timah yang lebih besar (biasanya 0,008 hingga diameter 0,015 inci) disediakan yang memungkinkan kabel ekstensi yang lebih besar dihubungkan ke kawat elemen yang sangat kecil. Elemen sensor tipe film dibuat dari substrat berlapis logam yang memiliki pola resistansi. Pola ini bertindak sebagai konduktor panjang, datar, dan lurus, yang memberikan hambatan listrik. Kabel timah terikat pada substrat berlapis logam dan ditahan di tempat menggunakan manik epoksi atau kaca ([pyromation Inc., no date](#)).

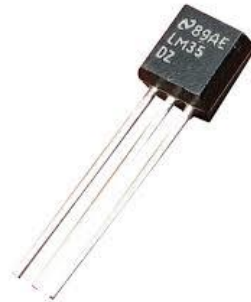
4) IC temperatur Sensor

AD590 dan LM35 secara tradisional menjadi perangkat yang paling populer, tetapi selama beberapa tahun terakhir alternatif yang lebih baik telah tersedia. Mereka memberikan sinyal keluaran arus atau tegangan dengan impedansi keluaran yang relatif rendah. Membutuhkan sumber daya eksitasi dan pada dasarnya linier.



Gambar 0.22 Sensor Suhu AD590

AD590 adalah transduser suhu sirkuit terintegrasi dua terminal. Menghasilkan arus keluaran yang proporsional dengan suhu absolut ($1\mu\text{A} / \text{K}$ yang berarti $298.2\ \mu\text{A}$ @ 298.2K (25°C). AD590 harus digunakan dalam aplikasi penginderaan suhu apa pun di bawah 150°C , biaya rendah, sirkuit linearization, amplifier tegangan presisi, sirkuit pengukur resistansi dan kompensasi sambungan dingin tidak diperlukan dalam menerapkan AD590. AD590 sangat berguna dalam aplikasi penginderaan jauh. Perangkat tidak sensitif terhadap penurunan tegangan pada saluran yang panjang karena output arus impedansinya tinggi (Intersil, 2002).



Gambar 0.23 Sensor LM35

LM35 dikalibrasi langsung dalam suhu $^\circ\text{C}$ dengan $+10.0\ \text{mV} / ^\circ\text{C}$. LM35 memiliki rentang pengukuran -55°C hingga $+150^\circ\text{C}$, cocok untuk aplikasi jarak jauh dan biaya rendah. Tegangan pengoperasian berkisar antara 4 hingga 30 volt dan pemanasan sendiri rendah yaitu $0,08^\circ\text{C}$. Non-linieritas hanya $\pm 1/4^\circ\text{C}$ tipikal dan output impedansi rendah yaitu $0,1\ \text{ohm}$ untuk beban $1\ \text{mA}$ (Texas Instruments, 2017).

3. Transduser listrik ke termal

a. Elemen pemanas

Transduser yang dikenal untuk konversi listrik ke termal adalah elemen pemanas, dan untuk sebagian besar tujuan ini terdiri dari kawat paduan nikel seperti *nichrome*.

Paduan nikel, kromium, dan besi ini memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi bahkan ketika panas kemerahan, dan resistivitasnya tinggi, sehingga memungkinkan ketahanan yang tinggi untuk dicapai tanpa memerlukan kawat pengukur sempit yang sangat panjang. Jumlah energi yang diubah diberikan oleh persamaan Joule tetapi tingkat suhu yang akan disebabkan oleh arus yang diberikan kurang dapat diprediksi. Suatu bahan mencapai suhu stabil ketika laju kehilangan energi panas sama dengan laju di mana energi dimasukkan. Tingkat kehilangan tergantung antara suhu material dan suhu sekitar.

Elemen pemanas berupa kawat nikelin berbentuk pipih yang dililitkan pada lembaran mika yang dibentuk sedemikian rupa sehingga panasnya dapat tersebar merata. Pada elemen pemanas lainnya kawat nikelin digulung menyerupai bentuk spiral dan dimasukkan dalam selongsong/pipa sebagai pelindung. Ada juga yang berupa spiral nikelin diberi selongsong dari bahan keramik/batu tahan api sebagai pelindung dan sekaligus sebagai isolator (Karim, 2016).

b. Transduser Efek Peltier

Efek Peltier, ditemukan pada tahun 1822, adalah bentuk lain dari aksi transduser listrik ke panas, dan merupakan kebalikan dari aksi termokopel (Seebeck). Sekali lagi, dua persimpangan logam yang berbeda digunakan, dan dalam hal ini, arus dilewatkan di sekitar rangkaian, menghasilkan satu sambungan persimpangan dan pemanasan lainnya. Perubahan suhu untuk arus yang diberikan kecil untuk sambungan logam-ke-logam, tetapi dapat menjadi substansial untuk sambungan logam-ke-semikonduktor, menjadikannya cara yang berguna untuk mengontrol suhu untuk ruang kecil (Sinclair, 2001).

Konversi energi listrik menjadi energi panas berlangsung dengan hampir 100% efisiensi, tetapi tidak ada konversi dari energi termal ke bentuk lain yang mendekati efisiensi lebih dari 50%. Alasan untuk ini dirangkum dalam hukum termodinamika, dan didasarkan pada prinsip bahwa kita tidak tahu berapa banyak panas yang terkandung dalam suatu benda, dan kita tidak bisa menghilangkan semuanya. Setiap perubahan dari energi panas ke bentuk lain harus melibatkan panas yang diambil oleh konverter pada suhu tinggi dan lebih sedikit jumlah panas yang diberikan pada suhu yang lebih rendah.

Konversi dari energi termal ke energi listrik, dilakukan dalam skala besar, dengan cara menghasilkan uap, dengan turbin yang mengoperasikan uap digabungkan dengan alternator. Sumber energi panas dapat berupa nuklir. Penggunaan metode turbin gas dan

alternator langsung yang lebih mahal dan hanya digunakan untuk menambah pasokan dari pembangkit listrik tenaga batubara dan nuklir konvensional. Salah satu manfaat dari ketidakefisienan seluruh proses dapat berupa ketersediaan air dalam jumlah besar pada suhu domestik yang berguna 40-60° C, dan di beberapa negara stasiun pembangkit listrik juga menjual limbah panasnya dalam jenis skema yang disebut CHP (gabungan panas dan daya) (Sinclair, 2001).

4. Transduser Radiasi

a. Foto detektor Termal

Prinsip ilmiah dasar di balik detektor termal yaitu radiasi IR yang mengenai suatu material akan menyebabkan efek panas yang kemudian akan menyebabkan perubahan sifat fisik material tersebut. Material yang digunakan dapat menangkap perubahan yang sangat kecil dari radiasi yang terjadi dan mengakibatkan perubahan suhu maksimum untuk detektor. Bahan-bahan yang dapat digunakan sangat bervariasi dan demikian pula sifat-sifat yang diubah. Keuntungannya yaitu dapat digunakan pada berbagai panjang gelombang dan dapat beroperasi pada suhu kamar. Kekurangan yaitu waktu respons yang lambat (dalam milidetik) dan sensitivitas rendah

1) Detektor Termokopel



Gambar 0.24 Detektor Termokopel

Termokopel adalah jenis detektor termal yang menempatkan dua logam yang berbeda misalnya Bismut dan antimon. Ketika logam dipanaskan oleh radiasi inframerah, tegangan kecil, sebanding dengan suhu di persimpangan antara 2 logam, dikirim (efek Peltier). Beberapa termokopel yang terhubung secara seri membentuk termopile (Columbia University, no date).

2) Detektor Piroelektrik



Gambar 0.25 Detektor Piroelektrik

Detektor piroelektrik terdiri dari kristal *non-centrosymmetrical* yang memiliki medan listrik internal di sepanjang sumbu kutubnya. Ketika radiasi inframerah mengenai detektor terjadi perubahan dalam polarisasi yang disebabkan oleh perubahan kisi kristal-kristal. Dengan menghubungkan 2 elektroda ke kristal, detektor piroelektrik dapat bertindak sebagai kapasitor. Namun efeknya tergantung pada laju perubahan suhu, bukan perubahan suhu itu sendiri. Detektor juga akan mengabaikan efek radiasi latar. Detektor piroelektrik biasanya digunakan dalam spektrometer FTIR.

b. Detektor Foton

1) Detektor Fotoemisif

Detektor fotoemisif merupakan detektor yang menerapkan prinsip efek fotoelektrik. Cahaya yang mengenai detektor akan melepaskan elektron dari permukaan material detektor. Elektron bebas yang dilepaskan akan mengalir atau dikumpulkan di rangkaian eksternal.



Gambar 0.26 Detektor Fotoemisif

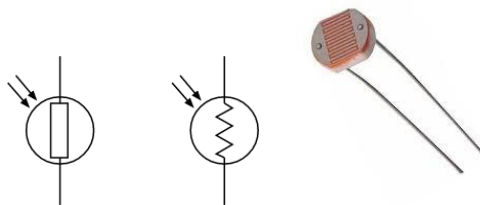
Detektor fotoemisif tampilannya agak mirip dengan tabung penguat sinyal radio yang digunakan pada perangkat radio awal sebelum munculnya transistor dan sirkuit terintegrasi, yang terdiri dari anoda dan katoda di dalam tabung kaca.

Detektor fotoemisif memiliki kelemahan yang agak serius yaitu agak besar dan rapuh, dan membutuhkan voltase yang cukup tinggi 100 V atau lebih, meskipun mereka memiliki konstanta waktu yang sangat singkat.

2) Detektor Fotokonduktif

Detektor fotokonduktif merupakan resistor yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh cahaya. Resistensi detektor fotokonduktif berkurang dengan meningkatnya intensitas cahaya yang mengenainya, yang disebut dengan fotokonduktivitas (Wang, no date).

Detektor fotokonduktif adalah detektor cahaya berbasis semikonduktor dimana foton yang mengenai sel fotokonduktif menyebabkan eksitasi elektron. Selama elektron tetap berada dalam pita konduksi, konduktivitas semikonduktor akan meningkat (Usher, 1985).



Gambar 0.27 Detektor Fotokonduktif

3) Detektor Fotovoltaik

Detektor fotovoltaik adalah memiliki karakteristik antara fotoemisif dan fotokonduktif. Detektor fotovoltaik dibangun dari bahan yang mirip dengan yang digunakan dalam perangkat fotokonduktif. Fotovoltaik mengandung pn junction yang memiliki efek menyebabkan pemisahan fisik antara *hole* dan pasangan elektron. Ketika fotovoltaik mengalami radiasi arus mengalir seperti pada detektor fotoemisif.

Pada kondisi gelap perangkat fotovoltaik memiliki karakteristik seperti dioda biasa, meskipun memiliki arus bocor yang agak tinggi. Karakteristik arus / tegangan adalah karakteristik dioda biasa tetapi ketika diterangi seluruh karakteristik bergerak secara fisik ke bawah dengan jumlah yang sama dengan arus cahaya. Transduser menghasilkan tegangan / arus bahkan tanpa adanya catu daya eksternal atau bias oleh karena itu fotovoltaik biasa juga disebut sel surya digunakan untuk pembangkit listrik di pesawat ruang angkasa dll.

4) Sensor Fotodiode



Gambar 0.28 Sensor Fotodiode

Sensor fotodiode merupakan diode yang peka terhadap cahaya, sensor fotodiode akan mengalami perubahan resistansi pada saat menerima intensitas cahaya. Fotodiode akan mengalirkan arus secara linear terhadap intensitas cahaya yang diterima. Arus tersebut merupakan arus bocor ketika fotodiode tersebut disinari dan dalam keadaan *reverse bias*. Tanggapan frekuensi sensor fotodiode tidak luas dan tanggapan paling baik terhadap cahaya infra merah tepatnya pada cahaya dengan panjang gelombang sekitar $0,9 \mu\text{m}$. Fotodiode adalah sensor cahaya yang termasuk kategori sensor cahaya fotokonduktif (Karim, 2016).

5) Sensor Fototransistor



Gambar 0.29 Sensor Fototransistor

Fototransistor adalah suatu bentuk transistor yang sambungan basis-emiternya tidak tertutup dan dapat dipengaruhi oleh cahaya. Sambungan basis-emitor bertindak sebagai fotodiode, dan arus dalam sambungan tersebut kemudian diperkuat oleh aksi transistor normal sehingga memberikan arus kolektor yang jauh lebih besar hingga 1000 kali lebih besar dari arus keluaran fotodiode. Di sisi lain akibat sensitivitas yang sangat meningkat, waktu respons transistor jadi lebih lama. Oleh karena itu fototransistor tidak cocok untuk mendeteksi berkas cahaya yang telah dimodulasi dengan sinyal frekuensi tinggi (Sinclair, 2001).

5. Transduser Gelombang Elektromagnetik

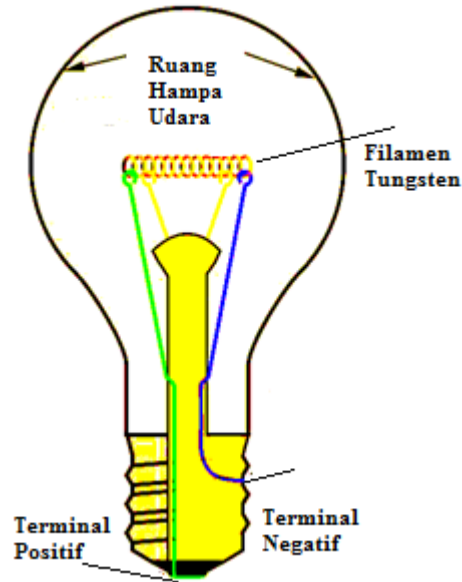
Antena dapat digunakan baik untuk pengiriman atau untuk penerimaan, meskipun sifatnya untuk satu tugas mungkin tidak begitu menguntungkan untuk tugas lainnya (Sinclair, 2001). Antena bekerja sebagai transduser yang mengubah energi listrik yang merambat dalam kabel menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke udara dan/atau sebaliknya. Antena pemancar digunakan untuk mengubah energi listrik yang merambat dalam kabel menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke udara. Antena penerima digunakan sebagai pengganti untuk mengubah gelombang elektromagnetik di udara menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat dalam kabel / saluran transmisi.

Selain sebagai saluran transmisi, antena juga dapat digunakan sebagai perangkat pemanen energi (*energy harvesting*). Antena berfungsi sebagai transduser yang mengubah energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik menjadi energi listrik (Gunathilaka *et al.*, 2012).

Transduser Output Radiasi

1) Lampu pijar

Lampu pijar merupakan transduser yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Bola lampu pijar mengubah energi listrik menjadi cahaya dan panas. Secara khusus, bola lampu pijar terdiri dari ruang vakum (bola kaca), sebuah filamen (biasanya terbuat dari tungsten), dan terminal positif dan negatif. Terminal negatif adalah bagian yang berbentuk sekrup ke soket untuk mencegah sengatan listrik. Sumber tegangan ditempatkan di terminal positif dan negatif yang menyebabkan arus mengalir melalui filamen. Karena hambatan listrik dari filamen tungsten, filamen memanaskan dan mengeluarkan cahaya (SCME, 2014).



Gambar 0.30 Lampu Pijar

2) Light Emitting Diode (LED)

LED merupakan transduser output yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya. LED pada dasarnya adalah PN junction diode. LED adalah dioda semikonduktor di mana penurunan tegangan untuk konduksi relatif besar. ketika sebuah elektron bertemu lubang di persimpangan seperti itu, keduanya menggabungkan dan melepaskan energi yang dapat dipancarkan jika persimpangan transparan. sebagian besar leds yang digunakan adalah konstruksi *gallium phosphide* atau *gallium arsenide phosphide* (Sinclair, 2001).



Gambar 0.31 LED

LED menghasilkan lebih banyak cahaya per watt daripada bola lampu pijar; ini berguna dalam perangkat bertenaga baterai atau hemat energi. LED dapat memancarkan cahaya dari warna yang diinginkan tanpa menggunakan filter warna yang dibutuhkan metode pencahayaan tradisional. Ini lebih efisien dan dapat menurunkan biaya awal (Peddinti, no date).

3) Layar CRT

CRT adalah tampilan *cathodoluminescent* di mana cahaya dihasilkan oleh bahan *luminescent* yang menarik dengan elektron energetik. Pistol elektron yang terletak di bagian belakang perangkat ini memancarkan sinar energik yang mengarah ke layar fosfor di tempat kecil yang dikemudikan oleh koil defleksi magnetik. Akhirnya, fosfor *cathodoluminescent* mengubah energi elektron menjadi cahaya.

Arus sinar dimodulasi untuk menyebabkan kecerahan yang bervariasi. Sinar elektron bergerak di daerah vakum yang terkandung oleh bola kaca yang terbuat dari kaca tebal untuk mengurangi tekanan mekanis. Elektron dihasilkan oleh pemanas resistif dengan suhu sekitar 600° C.

Komponen utama CRT yang secara nyata mempengaruhi kualitas gambarnya adalah struktur emisif, yang terdiri dari semua elemen yang bertanggung jawab untuk pembangkitan dan pengiriman cahaya. Struktur emisif sangat bervariasi sesuai dengan jenis CRT. Secara umum struktur emisif terdiri dari lapisan konduktif (biasanya mantel aluminium tipis), fosfor *cathodoluminescent*, lapisan matriks hitam, pelat muka kaca, dan antireflektif. Lapisan submikrometer aluminium yang halus, kontinu, dan sangat reflektif dilapis di atas fosfor untuk mengalirkan arus elektron yang masuk dan memaksimalkan keluaran cahaya ke arah penonton (Badano, 2003).



Gambar 0.32 Layar CRT

4) LCD

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan tampilan elektronik yang terdiri dari segmen-segmen kristal cair yang reflektivitasnya bervariasi sesuai dengan tegangan yang diberikan padanya. LCD terdiri dari set elektroda dengan bahan kristal cair, dan dengan satu dinding belakang yang transparan sebuah *back-plate* reflektif.

LCD berfungsi sebagai antarmuka pengguna dalam berbagai aplikasi termasuk notebook, monitor desktop, ponsel dan elektronik konsumen dan bisnis lainnya. Teknologi LCD dengan cepat menggantikan tabung sinar katoda tradisional (CRT)

sebagai pilihan yang lebih efektif. LCD lebih ringan dan sederhana memungkinkan berbagai aplikasi baru. LCD juga mengkonsumsi lebih sedikit energi dan tidak rentan terhadap panas berlebih. Selain itu pancaran radiasi elektromagnetik yang menyebabkan efek buruk pada materi biologis juga lebih rendah (Ylä-mella, Pongrácz and Keiski, 2014).



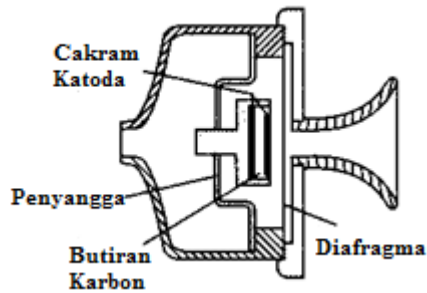
Gambar 0.33 Layar LCD

6. Transduser Suara

1) Mikrofon Karbon

Konsep dasar pada mikrofon karbon adalah ketika butiran karbon berikan tekanan (dikompresi) maka resistensinya berkurang. Hal itu terjadi karena butiran karbon yang berhubungan (bersentuhan) satu sama lain dengan lebih baik ketika didorong bersama oleh tekanan yang lebih tinggi. Mikrofon karbon terdiri dari butiran karbon yang terkandung di dalam wadah kecil yang ditutupi dengan diafragma logam tipis. Baterai diperlukan untuk mengalikan arus listrik melalui mikrofon. Ketika gelombang suara menghantam diafragma mikrofon karbon, maka diafragma tersebut bergetar, memberikan tekanan yang bervariasi ke karbon. Level tekanan yang bervariasi ini diterjemahkan menjadi variasi level resistensi yang mengakibatkan arus yang melewati mikrofon ikut bervariasi.

Variasi arus dapat dilewatkan melalui transformator atau kapasitor untuk kemudian dikuatkan. Kelemahan mikrofon karbon yaitu respons frekuensi terbatas pada kisaran sempit. Selain itu mikrofon karbon juga mengeluarkan suara berderak, yang dapat dihilangkan dengan mengguncangnya atau memberikan ketukan kecil untuk mengguncang butiran karbon dan memungkinkannya untuk menghasilkan arus yang lebih stabil. Mikrofon karbon digunakan pada masa-masa awal penemuan telepon (Electronic Notes, no date a).

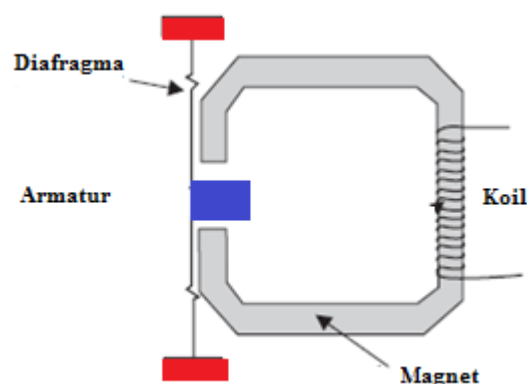


Gambar 0.34 Mikrofon Karbon

2) Mikrofon Reluktansi Variabel (Moving Iron)

Mikrofon reluktansi variabel (*moving iron*) menggunakan magnet yang kuat yang berisi armature besi lunak di sirkuit magnetiknya, dengan *armature* yang terpasang pada diafragma. Reluktansi magnetik pada rangkaian berubah ketika armature bergerak, sehingga mengubah total fluks magnetik dalam sirkuit magnetik. Lilitan kumparan di sekitar sirkuit magnetik pada titik mana pun akan menghasilkan EMF yang sebanding dengan setiap perubahan fluks magnet. Gelombang listrik dari bergeser fase 90° dengan amplitudo gelombang suara, dan sebanding dengan percepatan diafragma.

Linieritas konversi cukup baik untuk pergerakan armatur amplitudo kecil, tetapi sangat buruk untuk amplitudo besar. Level output maksimum yang bisa digunakan dari mikrofon reluktansi variabel mencapai 50 mV. Sirkuit magnetik yang merupakan fitur utama mikrofon jenis ini juga membuat instrumen lebih berat daripada beberapa jenis lainnya (Electronic Notes, no date b).



Gambar 0.35 Mikrofon *Moving Iron*

3) Mikrofon Koil Gerak (Moving Coil)

Mikrofon koil gerak atau lebih sering disebut mikrofon dinamis adalah salah satu bentuk mikrofon yang berdiri bebas . Mikrofon kumparan bergerak menggunakan

prinsip induksi elektromagnetik. Ketika variasi tekanan suara memindahkan kumparan yang ditempatkan di medan magnet, ada perubahan fluks magnet yang melewati kumparan, oleh karena itu GGL diinduksi dalam kumparan dan dengan demikian GGL membentuk output dari mikrofon.

Komponen utama dari mikrofon koil bergerak adalah magnet, diafragma dan koil. Magnet adalah magnet permanen dengan kutub selatan sebagai bagian kutub pusat dan kutub utara sebagai bagian kutub perifer. Jenis magnet ini memberikan medan magnet yang seragam di celah antara potongan kutub. Diafragma terbuat dari bahan non-magnetik dan ringan. Dipasang pada badan magnet dengan bantuan pegas gulungan pada lembaran papan silinder yang terpasang pada diafragma. Koil adalah kawat enamel berlapis tunggal. Penutup pelindung digunakan untuk menyelamatkan diafragma dan rakitan gulungan. Partisi kain sutera digunakan untuk memisahkan ruang atas dari ruang bawah. Sebuah tabung kecil digunakan di ruang bawah untuk memberikan akses ke atmosfer bebas.

Mikrofon dinamis memiliki banyak keunggulan yaitu sangat kokoh dan mampu menangani tingkat suara yang tinggi tanpa distorsi sehingga berguna untuk instrumen musik tertentu. Respon dari mikrofon dinamis memiliki puncak respon sekitar 2.5kHz atau lebih.

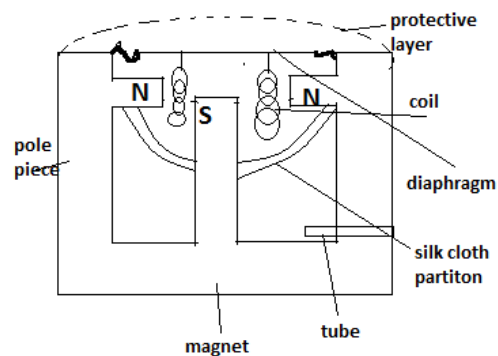


Fig. a Moving coil microphone

Gambar 0.36 Mikrofon *Moving Coil*

Ketika gelombang suara menyentuh diafragma koil bergerak masuk dan keluar di medan magnet. Gerakan ini mengubah fluks melalui koil yang menghasilkan GGL yang diproduksi di koil karena induksi elektromagnetik. Nilai GGL tergantung pada tingkat perubahan fluks dan karenanya pada gerakan koil. Perpindahan koil tergantung pada tekanan gelombang suara pada diafragma. Dengan demikian mikrofon ini menginduksi

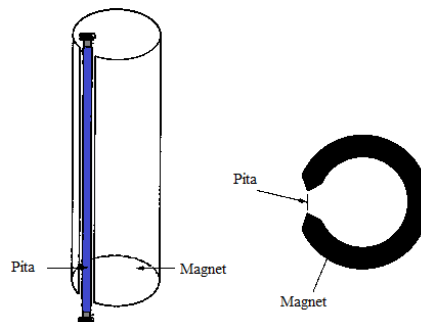
lebih banyak tegangan. Tegangan yang diinduksi adalah replika dari variasi tekanan suara.

4) Mikrofon Pita (Ribbon Microfon)

Mikrofon pita bekerja pada prinsip induksi elektromagnetik. Mikrofon pita memiliki respon frekuensi tinggi dengan menggunakan pita aluminium ringan menggantikan penggunaan diafragma dan unit koil. Di sini pita berfungsi sebagai konduktor dan juga diafragma.

Bagian utama dari mikrofon pita adalah magnet permanen dan pita konduktor. Magnet permanen adalah magnet sepatu kuda yang dirancang khusus sehingga memberikan medan magnet yang kuat. Pita adalah kertas aluminium ringan yang bergelombang di sudut kanan panjangnya untuk memberikan area permukaan yang lebih besar.

Ketika pita ditempatkan di medan magnet dibuat untuk bergerak pada sudut kanan ke medan magnet oleh kekuatan tekanan suara ada perubahan fluks magnet melalui konduktor pita. Karena perubahan fluks magnet ini, sebuah GGL diinduksi melintasi pita. GGL ini sebanding dengan laju perubahan fluks yang sebanding dengan kekuatan gelombang suara yang memukul pita. Ini juga disebut mikrofon gradien tekanan atau Mikrofon Kecepatan.



Gambar 0.37 Mikrofon Pita

5) Mikrofon Kapasitor

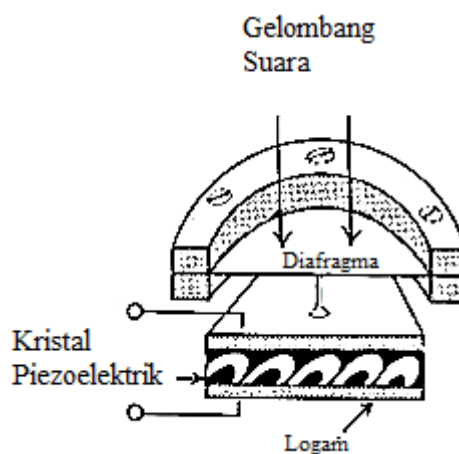
Diafragma dari mikrofon kapasitor bertindak sebagai satu pelat kondensator. Pelat lain yang disebut pelat belakang merupakan pelat tetap. Ketika tekanan suara mengenai diafragma, kapasitansi meningkat dan ketika diafragma bergerak keluar kapasitansi berkurang. Perubahan kapasitansi menghasilkan perubahan voltase.

Tegangan DC tetap sekitar 200V diterapkan antara pelat belakang dan pelat bergerak. Diafragma berada dalam kondisi memanjang karena tetap melekat pada perlengkapan pendukung dengan bantuan spider springs. Kedua pelat tersebut saling terisolasi.

Ketika gelombang suara mengenai mikrofon, diafragma bergerak. Selama gelombang kompresi itu bergerak ke arah plat kembali tetap dan meningkatkan kapasitansi. Selama gelombang mereda, diafragma bergerak menjauh dari pelat belakang dan mengurangi kapasitansi. Perubahan kapasitansi mengubah tegangan DC melintasi pelat kapasitor. Mikrofon kapasitor digunakan sebagai mikrofon standar untuk mengkalibrasi mikrofon lain, pengukur level suara, dan dalam rekaman profesional yang ketepatan tinggi

6) Mikrofon Piezoelektrik

Mikrofon piezoelektrik digunakan untuk aplikasi *shock* dan pengukuran suara dengan tekanan ledakan. Jenis sensor mikrofon ini tahan lama dapat mengukur tinggi amplitudo (desibel) rentang tekanan. Kerugian jenis sensor ini adalah tingkat kebisingan yang tinggi dapat diukur oleh system sensor ini (Syam, 2013). Gambar 4.38. mendeskripsikan struktur *microphone piezoelectric*.



Gambar 0.38 Mikrofon Piezoelektrik

(Sumber: Dasar-Dasar Teknik Sensor, 2013)

Transduser piezoelektrik memiliki keunggulan dibandingkan semua jenis lain yang disebutkan dalam bab ini tidak terbatas untuk digunakan di udara. Transduser piezoelektrik dapat diikat ke padatan atau direndam dalam cairan non-konduktor untuk

mengambil sinyal suara di salah satu pembawa ini. Selain itu, transduser piezoelektrik dapat digunakan dengan mudah pada frekuensi ultrasonik, dengan beberapa jenis yang dapat digunakan di wilayah MHz tinggi. Semua transduser piezoelektrik membutuhkan bahan kristalin di mana ion-ion kristal dipindahkan secara asimetris ketika kristal diregangkan (Sinclair, 2001).

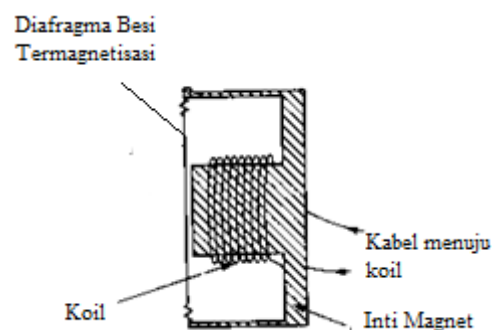
7. Transduser Output Suara

1) Speaker Besi Gerak (*moving iron*)

Speaker besi gerak (*moving iron*) adalah tipe speaker paling awal. Penggunaannya diterapkan pada *earphone* di awal pengembangan telepon dan digunakan secara ekstensif di kala itu.

Speaker besi gerak masih digunakan sampai sekarang di beberapa speaker mini dengan pertimbangan ukuran kecil dan biaya rendah lebih diutamakan dibandingkan kualitas suara. Pengeras suara besi yang bergerak terdiri dari diafragma yang terbuat dari logam atau alloy yang dimagnetisasi, magnet permanen dan gulungan koil enamel. Koil dililitkan pada magnet permanen untuk membentuk solenoid. Ketika sinyal audio diterapkan pada koil kekuatan medan magnet bervariasi sehingga menggerakkan diafragma.

Ada beberapa jenis speaker besi yang bergerak. Speaker besi bergerak tua yang tidak terbentang memiliki suara yang khas, dengan kualitas suara yang mungkin paling buruk dari semua jenis speaker yang diketahui dapat digunakan untuk berbicara. Mekanisme besi bergerak teredam modern dapat memberikan kualitas suara yang lebih baik dan digunakan dalam headphone.

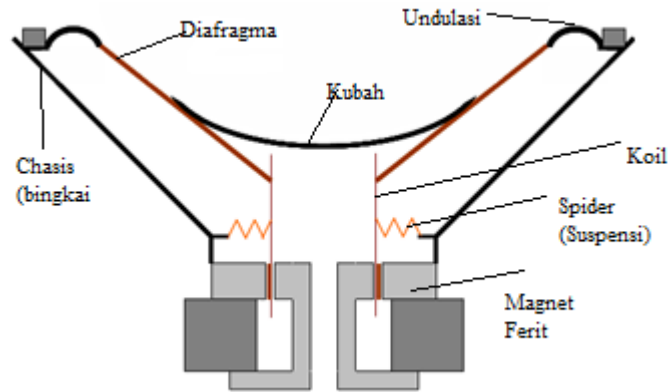


Gambar 0.39 Loudspeaker Moving Iron

2) **Speaker Koil Gerak (*Moving Coil*)**

Loudspeaker koil gerak (*moving coil*) pada dasarnya menggunakan efek magnetik yang dihasilkan oleh arus yang mengalir. Ketika arus mengalir dalam kawat penghantar, medan magnet muncul di sekitarnya. Ketika kawat dililitkan menjadi bentuk koil efek medan magnet meningkat. Jika koil ditempatkan ke medan magnet yang stabil pada magnet tetap maka kedua medan magnet tersebut akan berinteraksi. Kutub magnet yang berlawanan akan saling tarik menarik dan kutub magnet yang sama akan tolak menolak. Arus yang mengalir dalam koil dapat menyebabkan koil tertarik atau ditolak dari medan magnet tetap dan tingkat gaya sebanding dengan arus yang mengalir. Jika koil terpasang pada diafragma besar, maka gelombang suara akan lebih efektif ditransfer ke udara.

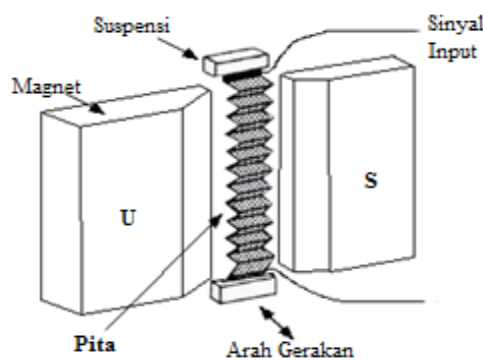
Konstruksi speaker koil gerak terdiri atas magnet, bingkai/chasis, diafragma, diafragma, kubah/penutup debu, voice coil dan spider/suspensi. Magnet menyediakan medan magnet tetap yang digunakan untuk melawan medan dari koil. Magnet ini biasanya terbuat dari ferit yang kuat. Loudspeaker koil bergerak umumnya dibangun di atas bingkai melingkar - kadang-kadang ini juga berbentuk elips. Bingkai membentuk dasar untuk loudspeaker dan menyediakan strukturnya, meskipun tidak berfungsi sebagai bagian aktif apa pun dalam operasi. Di bagian depan loudspeaker koil bergerak terdapat kerucut atau diafragma yang berfungsi mentransfer getaran koil gerak ke udara. Diafragma penguat suara dapat dibuat dari kain, plastik, kertas, atau logam ringan. Pada bagian antara *chasis* dan diafragma dipasang undulasi diafragma untuk memungkinkan bagian utama bergetar dan bergerak dengan mudah. Penutup debu berbentuk kubah melindungi koil suara dari debu dan kotoran. *Voice coil* (koil suara) yang bergerak adalah elemen kunci dari loudspeaker. Dibutuhkan arus dari penguat audio dan arus yang mengalir menghasilkan medan magnet yang berinteraksi dengan magnet permanen untuk menciptakan kekuatan yang menggerakkan kumparan sehingga diafragma yang secara mekanis menciptakan gelombang suara. *Spider* (suspensi) adalah bagian pendukung yang bentuknya bergelombang. Bagian ini memiliki sifat fleksibel untuk menahan koil suara di tempatnya, sekaligus memungkinkannya bergerak bebas.



Gambar 0.40 Loudspeaker Moving Coil

3) **Speaker Pita (Ribbon Loudspeaker)**

Pengeras suara pita terdiri dari pita film logam tipis yang diletakkan dalam medan magnet. Sinyal listrik dialirkan pada pita yang mengakibatkan pita bergerak dan menghasilkan suara. Keuntungan dari speaker pita adalah bahwa pita memiliki massa yang kecil dengan demikian sehingga dapat berakselerasi dengan sangat cepat dan menghasilkan respons frekuensi tinggi yang sangat baik. Loudspeaker pita seringkali sangat rapun dan dapat terkoyak oleh hembusan udara yang kuat. Desain loudspeaker pita umumnya membutuhkan magnet yang sangat kuat sehingga biaya produksinya menjadi mahal. Loudspeaker pita memiliki resistansi yang sangat rendah sehingga sebagian besar amplifier tidak dapat *men-drive* secara langsung, oleh karena itu transformator step down biasanya digunakan untuk meningkatkan arus melalui pita.



Gambar 0.41 Speaker Pita

4) **Speaker/Buzzer Piezoelectric**

Piezoelectric atau biasa disebut juga dengan efek piezoelectric adalah muatan listrik yang terakumulasi dalam bahan padat tertentu, seperti kristal dan keramik akibat

dari *mechanical pressure* (tekanan). Piezoelectric digunakan untuk mengukur tekanan, percepatan, regangan, etc. dan biasa digunakan dalam alat-alat seperti: mikrofon, jam quartz, pengubah suara menjadi tulisan pada laptop, mesin pembakaran dalam, printer, oscillator elektronik, hingga bisa dijadikan sebagai sumber energi alternatif ditempat keramaian seperti di station ataupun di bandara.

Contoh dari transduser listrik ke audio adalah *loudspeaker/buzzer* piezoelektrik. Piezoelectric buzzer adalah jenis buzzer yang menggunakan efek piezoelectric untuk menghasilkan suara atau bunyi. Tegangan listrik yang diberikan ke bahan piezoelectric akan menyebabkan gerakan mekanis, gerakan tersebut kemudian diubah menjadi suara atau bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia dengan menggunakan diafragma dan resonator. Prinsip piezoelektrik juga telah digunakan untuk *earphone* dalam bentuk piezoelektrik (lebih tepatnya piroelektrik, karena parameter listriknya peka terhadap temperatur) lembaran plastik, yang dapat dibentuk menjadi diafragma yang sangat fleksibel. Efek dari penerapan tegangan antara diafragma tersebut adalah membuat dimensi menyusut dan memperluas bentuk gelombang. Pada gilirannya ini dapat diubah menjadi gerakan yang akan menggerakkan udara dengan membentuk diafragma. Hal ini dapat dilakukan misalnya, hanya dengan meregangkan bahan di atas sepotong busa plastik bulat. Massa yang bergerak sangat kecil dan sensitivitasnya tinggi, tanpa perlu catu daya. Linearitas yang dapat diperoleh tergantung pada bentuk permukaan serta karakteristik piezoelektrik (Sinclair, 2001).

8. Transduser Ultrasonik

Ultrasonik adalah suara atau getaran dengan frekuensi yang terlalu tinggi untuk bisa didengar oleh telinga manusia, yaitu kira-kira di atas 20 kiloHertz. Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara, di mana sensor ini menghasilkan gelombang suara yang kemudian menangkapnya kembali dengan perbedaan waktu sebagai dasar pengindraannya. Perbedaan waktu antara gelombang suara dipancarkan dengan ditangkapnya kembali gelombang suara tersebut adalah berbanding lurus dengan jarak atau tinggi objek yang memantulkannya. Jenis objek yang dapat diindera diantaranya adalah: objek padat, cair, butiran maupun tekstil (Setiawan, 2009).

Pada transduser ultrasonik, meskipun pengeras suara dan mikrofon dapat menggunakan prinsip operasi yang sama, perbedaan antara menerima gelombang suara

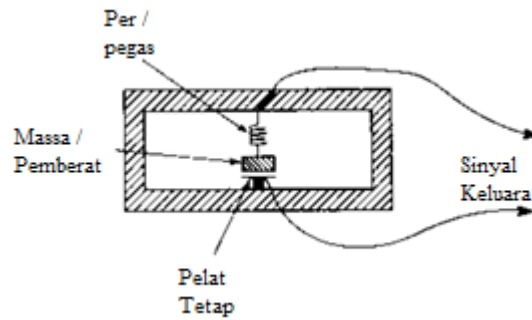
dan menghasilkannya cukup untuk membuat tindakan dipertukarkan dengan sangat buruk. Loudspeaker umumnya digunakan sebagai mikrofon berkualitas. Sebuah mikrofon sukses, tetapi tidak cocok sebagai loudspeaker karena tidak dirancang untuk dapat digunakan sebagai pegangan jumlah daya yang dibutuhkan.

Sebaliknya, transduser yang digunakan untuk gelombang ultrasonik adalah tipe yang hampir sepenuhnya reversibel. Transduser yang digunakan untuk mengirim atau menerima sinyal ultrasonik melalui padatan atau ke arah mana pun jika diperlukan. Untuk sinyal ultrasonik yang dikirim melalui udara (atau gas lainnya), transduser digunakan dengan diafragma dan dalam selungkup yang dapat membuat aplikasi lebih banyak unit penerima harus digunakan untuk tujuan spesifiknya (Sinclair, 2001).

9. Transduser Infrasonik

Frekuensi gelombang di bawah 20 Hz tidak begitu luas sebagai frekuensi infrasonik, tetapi penginderaan frekuensi ini adalah masalah penting. Getaran bumi yang disertai dengan gempa bumi berada di wilayah frekuensi sangat rendah dan disebut gelombang seismik. Transduser untuk gelombang seismik harus mampu respons frekuensi sangat rendah, yang mengesampingkan penggunaan transduser piezoelektrik. Kebanyakan transduser seismik bekerja berdasarkan prinsip penggunaan massa yang ditanggihkan untuk mengoperasikan transduser dari tipe kapasitif atau induktif, seperti contoh pada Gambar 4.42. Prinsipnya di sini adalah bahwa getaran bumi akan menggerakkan selubung, membiarkan massa yang ditanggihkan diam dan gerakan relatif antara penopang dan massa akan menghasilkan keluaran (Sinclair, 2001).

Sumber alami lain dari getaran frekuensi rendah adalah sinyal kuat yang memungkinkan jenis transduser piezoelektrik yang akan digunakan. Diafragma besar secara mekanis digabungkan ke kristal piezoelektrik dan output dari kristal terhubung ke amplifier MOSFET, dengan tahap chopper yang digunakan untuk amplifikasi utama. Teknik yang biasa dengan sinyal-sinyal ini adalah merekamnya dengan pita yang berjalan lambat, dan memutar ulang dengan kecepatan yang lebih tinggi untuk membuatnya lebih mudah untuk menampilkan (dan mendengar) bentuk gelombang.



Gambar 0.42 Detektor Seismik

(Sumber: Sensors and Transducers. Ian R Sinclair. 2001)

10. Transduser Aliran Fluida

Pengukuran aliran fluida mulai dikenal sejak tahun 1732 ketika Henry Pitot mengatur jumlah fluida yang mengalir. Untuk melakukan pengukuran fluida perlu ditentukan besaran dan vektor kecepatan aliran pada suatu titik dalam fluida dan bagaimana fluida tersebut berubah dari titik ke titik. Pengukuran atau penyensoran aliran fluida dapat digolongkan menjadi pengukuran kuantitas dan pengukuran laju aliran.

Pengukuran kuantitas adalah pengukuran fluida untuk mengetahui kuantitas total fluida yang telah mengalir dalam waktu tertentu. Pengukuran kuantitas diklasifikasikan menjadi : pengukur gravimetri atau pengukuran berat, pengukur volumetri untuk cairan, dan pengukur volumetri untuk gas.

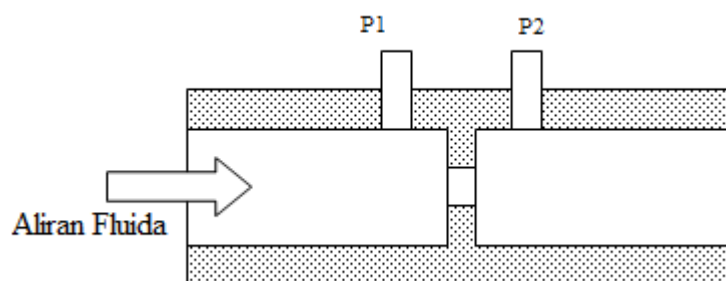
Ada beberapa hal yang mempengaruhi laju aliran fluida yaitu tekanan, ukuran pipa, gesekan pipa, viskositas fluida, gravitasi spesifik dan kondisi fluida. Semakin besar tekanan kepala, semakin cepat cairan akan mengalir, semakin besar pipa semakin besar laju aliran potensial. Gesekan pipa dengan fluida mengurangi laju aliran melalui pipa sehingga laju aliran fluida lebih lambat di dekat dinding pipa. Viskositas fluida adalah ketahanan fisik suatu fluida untuk mengalir. Gravitasi spesifik fluida - pada kondisi operasi apa pun, gravitasi spesifik fluida yang lebih tinggi, semakin rendah laju alirannya. Kondisi fluida (bening atau kotor) adalah salah satu batasan dalam pengukuran aliran, beberapa alat pengukur terhalang / terhubung atau terkikis jika cairan kotor digunakan. Fluida yang mengalir melalui pipa memiliki sifat yang berbeda, sehingga digunakan alat pengukur laju aliran fluida yang berbeda.

a. Flow Sensor Tekanan Diferensial (*differential pressure*)

Flow sensor yang paling banyak digunakan adalah jenis flow sensor tekanan diferensial. Flow sensor tekanan diferensial menggunakan prinsip beda luas penampang pipa. Flow sensor tekanan diferensial menerapkan hubungan antara luas daerah penampang, tekanan dan kecepatan fluida yang mengalir (Endress and Hauser, 2017).

Sederhananya, apabila fluida bergerak melewati penghantar (pipa) yang memiliki luas penampang seragam dengan kecepatan rendah, maka gerakan partikel masing-masing umumnya sejajar disepanjang garis dinding pipa. Jika laju aliran meningkat, titik puncak dicapai apabila gerakan partikel menjadi lebih acak dan kompleks. Kecepatan kira-kira di mana perubahan ini terjadi dinamakan kecepatan kritis. Aliran pada tingkat kelajuan yang lebih tinggi dinamakan *turbulen* dan pada tingkat kelajuan lebih rendah dinamakan *laminer*. Flow sensor tekanan diferensial bekerja dengan prinsip menghalangi sebagian aliran dalam pipa sehingga menciptakan perbedaan tekanan statis antara sisi hulu dan hilir perangkat. Perbedaan antara tekanan statis diukur dan digunakan untuk menentukan debit aliran fluida. Ada beberapa jenis flow sensor yaitu tekanan pelat berlubang, *nozzle*, tabung Venturi dan tabung Pitot.

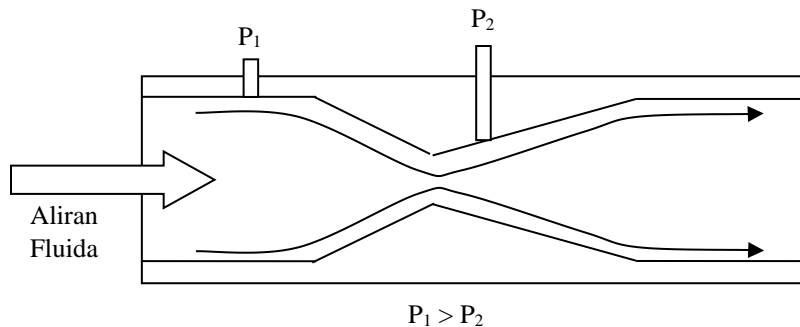
Pelat berlubang (*orifice plate*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.43 adalah alat ukur yang terdiri dari pipa di mana di bagian dalamnya diberi pelat berlubang yang diameternya lebih kecil dari diameter pipa. Sensor tekanan diletakkan disisi pelat bagian inlet (P1) dan satu lagi di bagian sisi pelat bagian outlet (P2). Jika terjadi aliran dari inlet ke outlet, maka tekanan P1 akan lebih besar dari tekanan outlet P2.



Gambar 0.43 Flow Sensor Orifice Plate

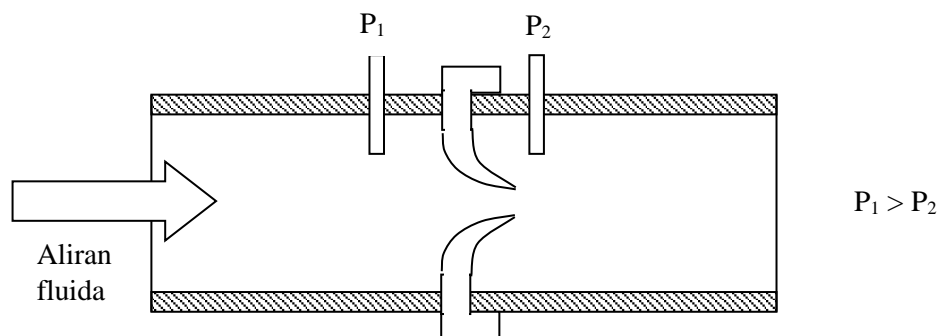
Pada pipa Venturi (ditunjukkan pada Gambar 4.44) aliran fluida dipercepat dengan cara membentuk corong sehingga aliran masih dapat dijaga agar tetap *laminar*. Sensor tekanan pertama (P1) diletakkan pada sudut tekanan pertama dan sensor tekanan kedua

diletakkan pada bagian yang paling menjorok ke tengah. Pipa venturi biasa dipergunakan untuk mengukur aliran cairan.



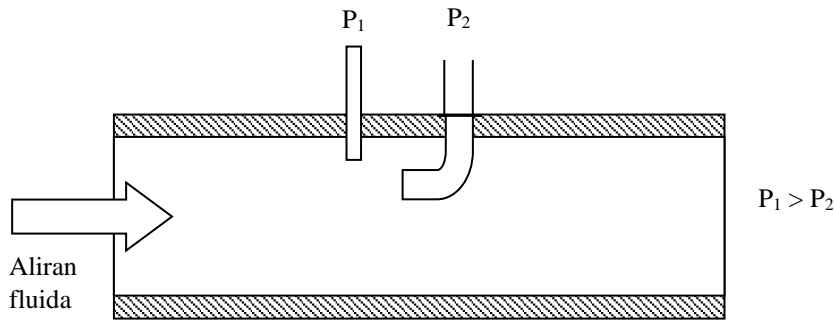
Gambar 0.44 Flow Sensor pipa Venturi

Tipe Flow Nozzle (ditunjukkan pada Gambar 4.45) menggunakan sebuah corong yang diletakkan di antara sambungan pipa sensor tekanan P1 di bagian inlet dan P2 di bagian outlet. Tekanan P2 lebih kecil dibandingkan P1. Sensor jenis ini memiliki keunggulan dibanding *venture* dan *orifice plate* yaitu masih dapat melewati padatan, kapasitas aliran cukup besar, pemasangan mudah, tahan terhadap gesekan fluida, beda tekanan yang diperoleh lebih besar daripada pipa Venturi dan hasil beda tekanan cukup baik karena aliran masih *laminar*.



Gambar 0.45 Flow Sensor Nozzle

Tabung Pitot (ditunjukkan pada Gambar 4.46) adalah pipa terbuka kecil di mana permukaannya bersentuhan langsung dengan aliran. Tabung Pitot terdiri dari 2 pipa, yaitu pipa statis yang berfungsi untuk mengukur tekanan statis dan tabung untuk mengukur tekanan stagnasi. Tekanan stagnasi selalu lebih besar daripada tekanan statis dan perbedaan antara kedua tekanan ini sebanding dengan laju aliran fluida.



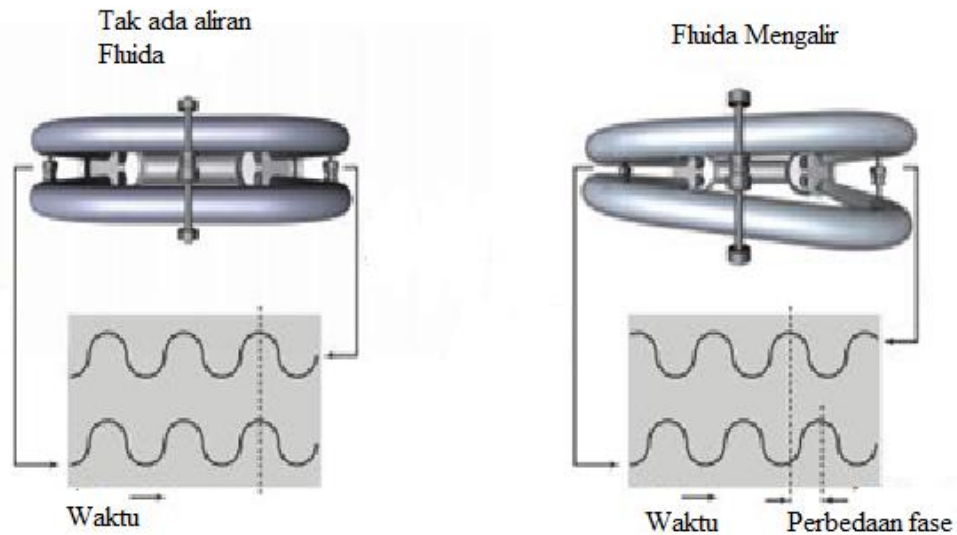
Gambar 0.46 Tabung Pitot

b. Flow Sensor Coriolis

Flow sensor Coriolis beroperasi dengan prinsip bahwa, jika sebuah partikel di dalam benda yang berputar bergerak ke arah pusat rotasi atau menjauh dari pusat rotasi, partikel tersebut menghasilkan gaya inersia yang bekerja pada benda tersebut. Flow sensor Coriolis membuat gerakan memutar dengan menggetarkan tabung atau tabung yang membawa aliran sehingga menghasilkan gaya inersia (gaya Coriolis) yang hasilnya sebanding dengan laju aliran massa fluida.

Flow sensor Coriolis terdiri atas satu atau lebih tabung pengukur yang dapat berosilasi. Ketika fluida mulai mengalir dalam tabung pengukur puntiran osilasi pada tabung bertambah akibat inersia fluida. Sensor mendeteksi perubahan osilasi tabung sebagai "perbedaan fasa." Perbedaan fasa tersebut sebanding dengan aliran massa fluida. Selain itu, densitas fluida juga dapat ditentukan dari frekuensi osilasi tabung pengukur.

Prinsip pengukuran Coriolis digunakan dalam berbagai industri, seperti sains, bahan kimia, petrokimia, minyak dan gas, dan makanan. Hampir semua cairan dapat diukur: bahan pembersih, pelarut, bahan bakar, minyak mentah, minyak nabati, lemak hewani, lateks, minyak silikon, alkohol, larutan buah, pasta gigi, cuka, kecap, mayones, gas atau gas cair.

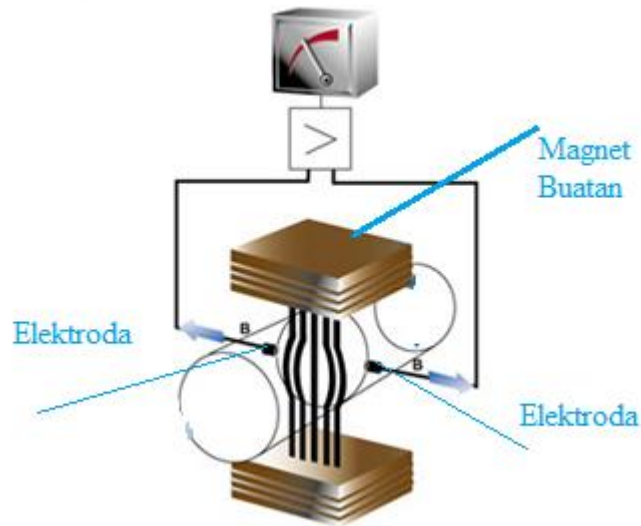


Gambar 0.47 Flow Sensor Coriolis

c. Flow Sensor Elektromagnetik

Flow sensor elektromagnetik menggunakan Hukum Faraday tentang Induksi Elektromagnetik untuk menentukan aliran cairan dalam pipa. Hukum induksi Faraday menyatakan bahwa batang logam yang bergerak dalam medan magnet menginduksi tegangan listrik. Prinsip dinamo ini juga mengatur cara kerja flow sensor elektromagnetik. Ketika partikel bermuatan listrik melintasi medan magnet buatan yang dihasilkan oleh dua kumparan medan tegangan listrik diinduksi.

Dua buah elektroda dipasang pada bagian dalam pipa dengan posisi tegak lurus arus medan magnet dan tegak lurus terhadap aliran fluida. Bila terjadi aliran fluida, maka ion-ion positif dan ion-ion negatif membelok ke arah elektroda. Dengan demikian terjadi beda tegangan pada elektroda-elektrodanya. Tegangan induksi tersebut dialirkan oleh dua elektroda pengukur yang berbanding lurus dengan kecepatan aliran dan volume aliran.

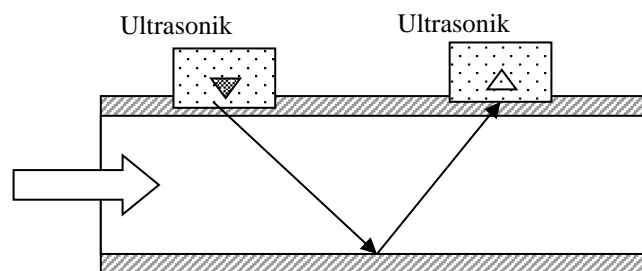


Gambar 0.48 Flow Sensor Elektromagnetik

(Sumber : <https://web.archive.org>)

d. Flow Sensor Ultrasonik

Flow Sensor Ultrasonik menggunakan Azas Doppler. Dua transducer ultrasonic dipasang pada pipa, keduanya dipasang dibagian tepi dari pipa untuk menghindari kerusakan sensor permukaan sensor dihalangi oleh membran. Perbedaan lintasan terjadi karena adanya aliran fluida yang menyebabkan perubahan fasa pada sinyal yang diterima sensor ultrasonik.



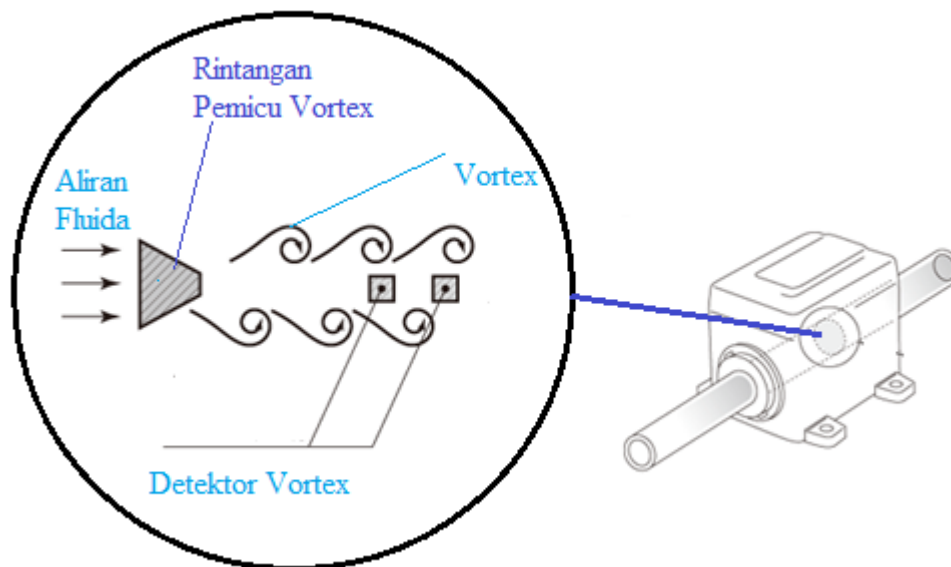
Gambar 0.49 Flow Sensor Ultrasonik

e. Flow Sensor Vortex (pusaran)

Flow sensor Vortex menggunakan didasarkan pada fakta bahwa turbulensi membentuk hilir rintangan (*obstacle*) dalam aliran fluida, seperti dermaga jembatan. Pada flow sensor vortex di tengah-tengah pipa diletakkan sebuah rintangan yang menggertak aliran fluida. Ketika aliran melewati rintangan, vortex (pusaran) terbentuk di belakang

rintangan, terlepas dari aliran menuju ke hilir. Frekuensi pergantian vortex berbanding lurus dengan kecepatan aliran rata-rata dan aliran volume fluida (Endress and Hauser, 2017).

Vortex (pusaran) terpisah di kedua sisi rintangan secara bergantian menghasilkan tekanan positif atau negatif yang terdeteksi oleh sensor kapasitif dan diumpankan sebagai sinyal linear digital.

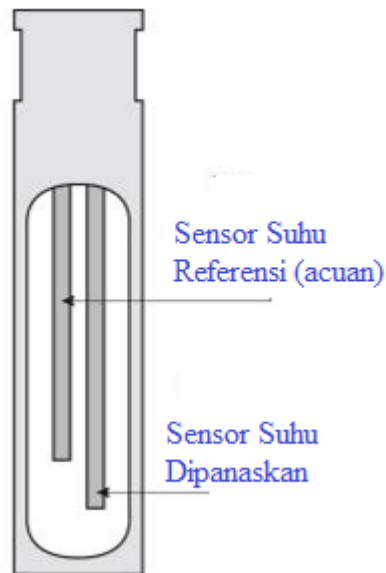


Gambar 0.50 Flow Sensor Vortex

f. Flow Sensor Termal

Flow sensor termal menggunakan prinsip pengukuran yang didasarkan pada fakta bahwa panas berpindah dari benda yang dipanaskan ketika fluida mengalir melewati benda panas tersebut. Flow sensor termal berisi dua sensor suhu. Satu sensor mengukur suhu fluida saat ini sebagai referensi sedangkan sensor kedua dipanaskan dan memiliki perbedaan suhu konstan relatif terhadap sensor pertama.

Ketika fluida mulai mengalir dalam tabung pengukur, sensor suhu yang dipanaskan mendingin karena fluida yang mengalir melewatinya. Semakin tinggi kecepatan aliran, semakin besar efek pendinginannya. Arus listrik yang diperlukan untuk mempertahankan perbedaan suhu antara sensor pertama dan kedua, arus listrik tersebut sebanding dengan aliran massa fluida.



Gambar 0.51 Flow Sensor Termal

11. Transduser gas

Transduser gas merupakan transduser yang berfungsi untuk mendeteksi atau mengukur kuantitas suatu gas tertentu. Berdasarkan prinsip kerjanya dibedakan menjadi sensor gas katalitik, sensor gas termal, sensor gas elektrokimia, sensor gas optikal, sensor gas inframerah dan sensor gas semikonduktor.

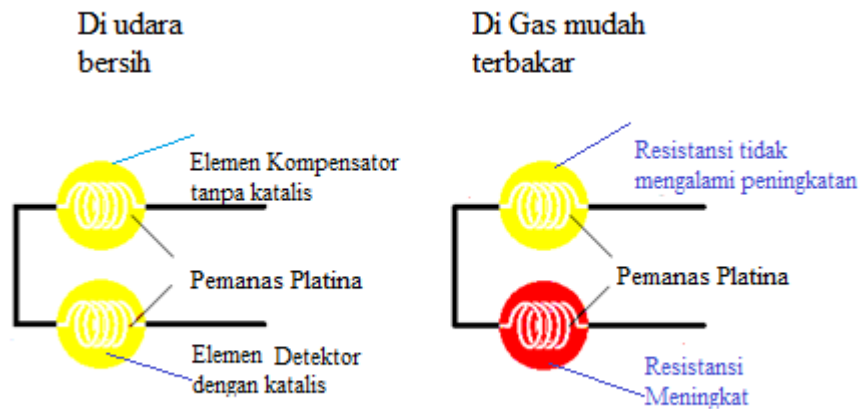
a. Sensor Gas Katalitik

Sensor gas katalitik memanfaatkan oksida logam dan senyawanya lain yang memiliki sifat katalitik. Sensor gas yang dibuat berdasarkan prinsip katalitik disebut sensor gas katalitik. Sensor gas katalitik dibagi menjadi dua yaitu, tipe pellistor dan tipe termoelektrik (Yunusa *et al.*, 2014).

Sensor gas katalitik terdiri dari dua elemen, yaitu elemen detektor yang mengandung bahan katalitik dan peka terhadap gas yang mudah terbakar dan elemen kompensator yang lembam (*inert*). Gas yang mudah terbakar hanya akan terbakar pada elemen detektor yang menyebabkan kenaikan suhunya dan mengakibatkan kenaikan resistansi. Gas yang mudah terbakar tidak akan terbakar pada kompensator suhu dan resistansinya tetap tidak berubah dengan adanya gas yang mudah terbakar.

Biasanya rangkaian jembatan Wheatstone dibentuk dengan kedua elemen yaitu Variabel resistor (VR) disesuaikan untuk menjaga keadaan keseimbangan rangkaian jembatan di udara bersih bebas dari gas yang mudah terbakar. Ketika gas yang mudah terbakar hadir, hanya hambatan dari elemen detektor yang akan naik, menyebabkan

ketidakseimbangan dalam rangkaian jembatan, sehingga menghasilkan sinyal tegangan keluaran (V_{out}). Sinyal tegangan output sebanding dengan konsentrasi gas yang mudah terbakar. Konsentrasi gas dapat ditentukan dengan mengukur tegangan output (Figaro Engineering Inc., 2018).



Gambar 0.52 Sensor Gas Katalitik

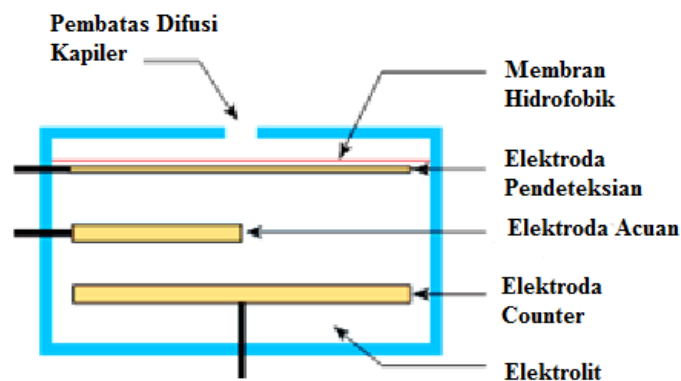
b. Sensor Gas Termal

Pengukuran konduktivitas termal untuk analisis gas telah digunakan selama beberapa dekade. Biasanya digunakan untuk mendeteksi gas dengan konduktivitas termal tinggi lebih besar dari udara seperti hidrogen dan metana. Sementara gas dengan konduktivitas hampir sama dengan udara tidak dapat dideteksi seperti amonia dan karbon monoksida. Gas dengan konduktivitas termal kurang dari udara sulit dideteksi menggunakan metode ini karena interferensi misalnya karbondioksida dan butana. Prinsip di balik mekanisme deteksi adalah ketika resistor terpapar ke campuran gas target, panas hilang yang lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada konduktivitas termal gas target sehubungan dengan gas referensi. Dalam kondisi normal ada aliran panas yang stabil dari filamen ke badan detektor. Ketika detektor gas termal ter-elusi dan konduktivitas termal berkurang, filamen memanans dan mengubah resistensi. Perubahan resistansi ini sering dirasakan oleh rangkaian jembatan Wheatstone yang menghasilkan perubahan tegangan yang dapat diukur (Yunusa *et al.*, 2014).

c. Sensor Gas Elektrokimia

Sensor gas elektrokimia bereaksi dengan gas target dan menghasilkan sinyal listrik yang sebanding dengan konsentrasi gas. Sensor gas elektrokimia terdiri dari elektroda penginderaan atau elektroda kerja dan elektroda *counter* yang dipisahkan oleh lapisan tipis elektrolit. Sebelum gas bersentuhan dengan sensor, gas melewati bukaan tipe kapiler

tipis dan kemudian berdifusi melalui penghalang hidrofobik hingga mencapai permukaan elektroda. Fungsi membran ini adalah untuk mencegah bocornya elektrolit cair dan menghasilkan sinyal listrik yang cukup di elektroda penginderaan. Hal ini juga terdiri dari elektroda referensi yang fungsinya untuk mempertahankan potensi yang stabil dan konstan pada elektroda penginderaan karena reaksi elektrokimia berkelanjutan yang terjadi pada permukaan elektroda. Reaksi elektrokimia dengan gas target menghasilkan aliran arus antara elektroda penginderaan dan pencacah. Elektrolit bertanggung jawab untuk membawa muatan ionik melintasi elektroda (Yunusa *et al.*, 2014).



Gambar 0.53 Sensor Gas Elektrokimia

d. Sensor Gas Optikal

Sensor gas optikal menerapkan prinsip hamburan dan penyerapan / emisi optik dari suatu gas pada panjang gelombang optik yang ditentukan. Sebuah sensor gas optik terdiri dari elemen pemancar cahaya, elemen pendeteksi cahaya, elemen sensor gas, elemen sensor gas yang merespons cahaya dan filter untuk pengambilan fluoresensi atau fosforensi. Kebanyakan sensor optik biasanya didasarkan pada film tipis paladium atau *chemochromic oxides* yang dilapisi sepanjang serat optik (Yunusa *et al.*, 2014).

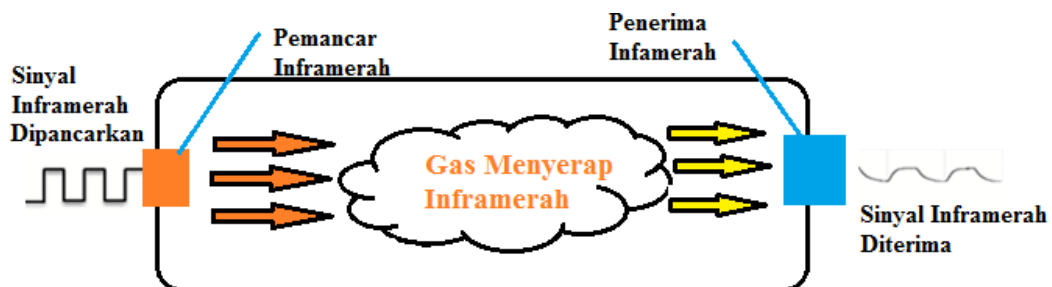


Gambar 0.54 Sensor Gas Optikal

e. Sensor Gas Inframerah

Sensor gas inframerah terdiri dari detektor yang mengubah energi radiasi elektromagnetik menjadi sinyal listrik. Detektor dari berbagai jenis yaitu: thermoelectric, thermistor bolometer, pyroelectric detector dan photon detector. Sensor gas inframerah juga terdiri dari pemancar inframerah yang bisa berupa lampu pijar biasa atau filamen kawat yang dipanaskan yang dapat digunakan untuk mendeteksi CO, CO dan hidrokarbon lainnya. Komponen lain adalah serat optik yang bisa terdiri dari dua jenis: dispersif dan non-dispersif (Yunusa *et al.*, 2014).

Jenis non-dispersif menggunakan filter bandpass optik diskrit dan sebagian besar digunakan untuk aplikasi sensor gas sedangkan tipe dispersif menggunakan perangkat optik seperti kisi atau prisma. Yang terakhir tetapi tidak sedikit adalah sel gas yang memungkinkan jalur cahaya sehingga dapat berinteraksi dengan gas target. Sensor gas inframerah digunakan untuk mendeteksi gas yang berbeda seperti metana, etana, propana, butana, benzena toluena, xylene dan alkohol lainnya seperti metanol, etanol dll. Ada beberapa jenis sensor gas inframerah yaitu sensor gas inframerah menggunakan LED untuk pengukuran metana, sensor gas Non-Dispersive Infrared (NDIR) untuk pengukuran konsentrasi gas CO, spektroskopi serapan laser dioda merdu untuk pengukuran gas hidrogen sulfida dan sensor CO miniatur berdasarkan penyerapan inframerah.



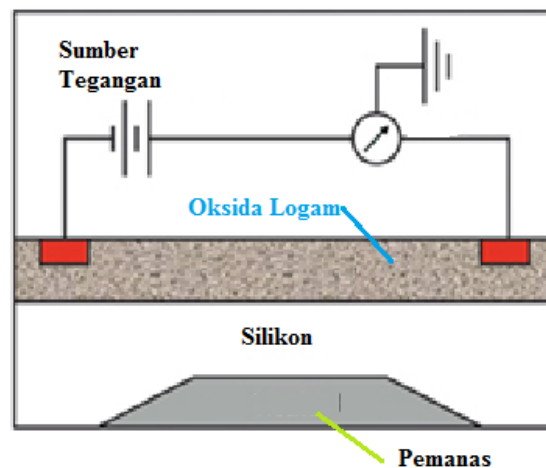
Gambar 0.55 Sensor Gas Inframerah

f. Sensor Gas Semikonduktor

Sensor gas semikonduktor adalah perangkat yang terdiri dari oksida logam yang dipanaskan yang digunakan untuk pengukuran konsentrasi gas dari gas target dengan mengukur hambatan listrik perangkat. Semikonduktor tipe-n intrinsik cocok untuk mendeteksi gas pereduksi akibat perubahan konduktansi tinggi sebagai hasil dari elektron yang disuntikkan. Demikian pula, semikonduktor tipe-p cocok untuk mendeteksi gas pengoksidasi. Oksida biasanya digunakan untuk tipe-n terutama oksida: SnO₂. ZnO

In₂O. Sensor gas semikonduktor umumnya digunakan untuk mendeteksi hidrogen, oksigen, alkohol dan gas berbahaya seperti karbon monoksida (Yunusa *et al.*, 2014).

Ketika partikel semikonduktor dipanaskan di udara bersih pada suhu tinggi, oksigen diserap pada permukaan partikel dengan menangkap elektron bebas. Di udara bersih, elektron donor dalam timah dioksida tertarik ke arah oksigen yang diserap pada permukaan bahan pengindraan, mencegah aliran arus listrik. Ketika sensor melakukan kontak dengan gas pereduksi, kerapatan permukaan oksigen yang terserap berkurang karena bereaksi dengan gas pereduksi. Elektron kemudian dilepaskan ke dalam timah dioksida, yang memungkinkan arus mengalir bebas melalui sensor.



Gambar 0.56 Sensor Gas Semikonduktor

12. Transduser Level Cairan

Pengukuran level dapat dilakukan dengan bermacam cara antara lain dengan: pelampung atau *displacer*, gelombang udara, resistansi, kapasitif, ultrasonik, optik, thermal, tekanan, sensor permukaan dan radiasi. Pemilihan sensor yang tepat tergantung pada situasi dan kondisi sistem yang akan di sensor (Widiyantoro, 2013).

1) Menggunakan Pelampung

Cara yang paling sederhana dalam penyensor level cairan adalah dengan menggunakan pelampung yang diberi gagang. Pembacaan dapat dilakukan dengan memasang sensor posisi misalnya potensiometer pada bagian engsel gagang pelampung. Cara ini cukup baik diterapkan untuk tanki-tanki air yang tidak terlalu tinggi.

2) Menggunakan Ultrasonik

Jika kita menggunakan sensor ultrasonik, sinyal yang dipindahkan berdasarkan kecepatan suara, waktu pengiriman dan penerimaan diukur dari jarak jangkauan ke permukaan yang dituju.

3) Menggunakan Cara Optik

Pengukuran level menggunakan optic didasarkan atas sifat pantulan permukaan atau pembiasan sinar dari cairan yang disensor. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk penyensoran menggunakan optic yaitu menggunakan sinar laser, prisma, dan serat optik.

E. Rangkuman Materi

1. Transduser perpindahan berdasarkan gerakan dibagi menjadi transduser perpindahan translasional dan transduser rotasional. Transduser perpindahan dapat dikelompokkan menjadi transduser resistif, kapasitif dan induktif.
2. Transduser termal terdiri atas beberapa jenis diantaranya yaitu termokopel, termistor, RTD, IC temperatur dan transduser output yang mengubah energi listrik menjadi panas.
3. Transduser radiasi dibedakan menjadi fotodetektor termal, detektor foton, transduser output radiasi dan transduser radiasi elektromagnetik. Transduser fotodetektor termal diantaranya yaitu detektor termokopel radiasi dan detektor piroelektrik. Transduser detektor foton diantaranya yaitu detektor fotoemisif, detektor fotokonduktif, detektor fotovoltaik, sensor fotodiode dan sensor fototransistor. Transduser output radiasi adalah transduser yang mengubah energi listrik menjadi cahaya diantaranya LED, lampu pijar, layar CRT dan LCD.
4. Transduser suara dibagi menjadi transduser suara input berupa mikrofon, transduser suara output berupa loudspeaker, transduser ultrasonik dan transduser infrasonik. Mikrofon berdasarkan cara kerja dan komponennya dibedakan menjadi mikrofon karbon, mikrofon moving coil, mikrofon moving iron, mikrofon pita, mikrofon kapasitor dan mikrofon piezoelektrik. Loudspeaker sebagai transduser output gelombang suara dibedakan menjadi Speaker moving iron, speaker moving coil, speaker pita dan speaker piezoelektrik. Transduser ultrasonik adalah transduser gelombang atau transduser suara dengan frekuensi di atas 20 kiloHertz. Transduser

infrasonik adalah transduser suara frekuensi gelombang di bawah 20 Hz yang dikenal sebagai frekuensi infrasonik.

5. Transduser aliran fluida adalah transduser pengukuran fluida untuk mengetahui kuantitas total fluida yang telah mengalir dalam waktu tertentu. Pengukuran kuantitas diklasifikasikan menjadi : pengukur gravimetri atau pengukuran berat, pengukur volumetri untuk cairan, dan pengukur volumetri untuk gas. Transduser aliran fluida dibedakan menjadi transduser tekanan diferensial, flow sensor coriolis, flow sensor elektromagnetik, flow sensor ultrasonik, flow sensor vortex dan flow sensor termal.
6. Transduser gas merupakan transduser yang berfungsi untuk mendeteksi atau mengukur kuantitas suatu gas tertentu. Berdasarkan prinsip kerjanya dibedakan menjadi sensor gas katalitik, sensor gas termal, sensor gas elektrokimia, sensor gas optikal, sensor gas inframerah dan sensor gas semikonduktor.

F. Tugas

Buatlah kelompok yang terdiri dari 3-5 orang, lalu buatlah sebuah rancangan sistem yang mengaplikasikan minimal 5 transduser input dan beberapa transduser output !

G. Tes Formatif

1) Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal pilihan ganda di bawah ini !

1. Berikut ini transduser yang merupakan transduser perpindahan translasional resitif adalah...
 - a. Thermistor
 - b. Thermokopel
 - c. Potensiometer geser
 - d. Sensor proximity
2. Transduser yang mengubah energi listrik menjadi radiasi cahaya adalah...
 - a. LED, RTD dan Thermistor
 - b. Mikrofon, LED dan Lampu pijar
 - c. Motor DC, Lampu pijar dan Thermistor
 - d. Layar CRT, LED dan Lampu pijar
3. Transduser yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya adalah...
 - a. Mikropon karbon
 - b. *Light Emiting Diode*

- c. Sel fotovoltaik
 - d. LVDT
4. Transduser yang dapat mengeluarkan gelombang suara adalah...
- a. Loudspeaker koil gerak
 - b. Mikrofon karbon
 - c. Potensiometer putar
 - d. Sensor vortex
5. Transduser gas yang memanfaatkan cahaya sebagai alat deteksinya adalah transduser gas tipe...
- a. Sensor gas katalitik
 - b. Sensor gas optikal
 - c. Sensor gas semikonduktor
 - d. Sensor gas elektrokimia
- 2) Essay
1. Jelaskan perbedaan transduser fotoemisif dan transduser fotokonduktif !
 2. Sebutkan dan jelaskan 3 transduser pendeteksi gas dan cara kerja masing-masing ?
 3. Jelaskan perbedaan antara termistor PTC dan transduser NTC ?

H. Glosarium

Istilah	Pengertian
Gerak Translasi	Gerak translasi adalah gerak suatu benda dimana setiap titik pada benda tersebut menempuh lintasan dan bentuk yang sama. Lintasan pada gerak translasi dapat berupa garis lurus atau bukan.
Gerak Rotasi	Gerak rotasi (melingkar) adalah gerakan pada bidang datar yang lintasannya berupa lingkaran.
Foton	Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya foton dianggap sebagai

	pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X.
<i>IC (Integrated Circuit)</i>	<i>IC (Integrated Circuit)</i> atau Sirkuit terpadu adalah komponen dasar yang terdiri dari resistor, transistor dan lain-lain. IC adalah komponen yang dipakai sebagai otak peralatan elektronika. IC yang paling kompleks terletak dalam komputer yang disebut mikroprosesor.
Radiasi elektromagnetik	Radiasi elektromagnetik adalah kombinasi medan listrik dan medan magnet yang beresilasi dan merambat melewati ruang dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain. Cahaya tampak adalah salah satu bentuk radiasi elektromagnetik.
Gelombang suara	Bunyi atau suara adalah pemampatan mekanis atau gelombang longitudinal yang merambat melalui medium. Medium atau zat perantara ini dapat berupa zat cair, padat, gas. Jadi, gelombang bunyi dapat merambat misalnya di dalam air, batu bara, atau udara.
Vortex	Sebuah vorteks adalah aliran cairan yang berputar dan biasanya turbulen. Gerakan spiral apapun dengan arah aliran tertutup disebut aliran vorteks. Gerakan cairan yang berputar cepat mengitari pusatnya disebut vorteks

I. Daftar Pustaka

1. 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. Available at: http://www.engin.umich.edu/class/ners580/ners-bioe_481/lectures/pdfs/RSNA2003_DR_PrincCRT+LCD_Badano.pdf.
2. Columbia University (no date) *Thermocouples and Pyroelectric Detectors*. Available at: <http://www.columbia.edu/itc/chemistry/ARCHIVE/chem-c1500TL/experiments/session3/thermocouple/thermocouple.html> (Accessed: 12 September 2019).
3. Electronic Notes (no date a) *Carbon Microphone*. Available at:

- <https://www.electronics-notes.com/articles/audio-video/microphones/electret-microphone.php> (Accessed: 18 October 2019).
4. Electronic Notes (no date b) *Dynamic Microphone Moving Coil Microphone Electronics Notes*. Available at: <https://www.electronics-notes.com/articles/audio-video/microphones/moving-coil-dynamic-microphone.php> (Accessed: 22 October 2019).
 5. Endress and Hauser (2017) *Flow measuring technology for liquids , gases and steam*. Endress and Hauser. Available at: www.endress.com.
 6. Figaro Engineering Inc. (2018) *Operating principle -Catalytic-type gas sensor*. Available at: <https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/catalytic-type.html> (Accessed: 3 October 2019).
 7. Gunathilaka, W. M. D. R. *et al.* (2012) ‘Ambient Radio Frequency energy harvesting’, *2012 IEEE 7th International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS 2012*, (June 2016). doi: 10.1109/ICIInfS.2012.6304789.
 8. Intersil (2002) *AD590 2-Wire, Current Output Temperature Transducer*. Intersil.
 9. Karim, S. (2016) *Modul Pelihan Guru : Paket Keahlian Teknik Elektronika Industri Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)*. Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif dan Elektronika, Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
 10. Morris, A. S. (2001) *Measurement & Instrumentation Principles*. Third. Oxford: Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
 11. Peddinti, V. K. (no date) ‘Light Emitting Diodes (LEDs) basic structures’. doi: 10.1007/s00710-007-0198-0.
 12. pyromation Inc. (no date) *RTD Theory*.
 13. SCME (2014) *Introduction to Transducers, Sensors, and Actuators, Southwest Center for Microsystems Education (SCME) University of New Mexico*. Albuquerque: University of New Mexico. Available at: http://engtech.weebly.com/uploads/5/1/0/6/5106995/more_on_transducers_sensors_actuators.pdf.
 14. Sinclair, I. R. (2001) *Sensors and Transducer, The British Journal of Psychiatry*. Oxford: Reed Educational and Profesional Publishing Ltd. doi: 10.1192/bjp.111.479.1009-a.
 15. Texas Instruments (2017) *LM35 Precision centigrade temperature sensors*. Texas

- Instruments. Available at: www.ti.com.
16. Thermo Sensor Corp. (2013) *Resistance Temperature Detectors (RTDs)*. Thermo Sensors Corp.
 17. Usher, M. J. (1985) *Sensor And Transducer*. London: Macmillan Publisher Ltd. doi: 10.1192/bjp.112.483.211-a.
 18. Wang, W.-C. (no date) *Optical Detectors Photodetectors*. Available at: http://photonics.intec.ugent.be/education/IVPV/res_handbook/v1ch15.pdf.
 19. Ylä-mella, J., Pongrácz, E. and Keiski, R. L. (2014) 'Liquid Crystal Displays : Material Content and Recycling Practices University of Oulu University of Oulu University of Oulu', (August).
 20. Yunusa, Z. *et al.* (2014) 'Gas Sensors : A Review', *Sensors & Transducers*, 168(December 2015), pp. 61–75. Available at: <http://www.sensorsportal.com>.

BAB V

TEKNOLOGI JARINGAN SENSOR NIRKABEL

A. Capaian Pembelajaran

1. Mampu memahami pengertian dan sejarah teknologi jaringan sensor nirkabel atau WSN.
2. Mampu memahami arsitektur, topologi dan pengaplikasian jaringan sensor nirkabel atau WSN.

B. Sub Capaian Pembelajaran

1. Mampu menjelaskan pengertian teknologi jaringan sensor nirkabel.
2. Mampu menjelaskan sejarah teknologi jaringan sensor nirkabel.
3. Mampu menjelaskan arsitektur teknologi jaringan sensor nirkabel.
4. Mampu menjelaskan topologi teknologi jaringan sensor nirkabel.
5. Mampu menjelaskan tipe teknologi jaringan sensor nirkabel.
6. Mampu menjelaskan pengaplikasian teknologi jaringan sensor nirkabel.

C. Pokok-Pokok Materi (Peta Konsep)

1. Pengertian jaringan sensor nirkabel.
2. Sejarah jaringan sensor nirkabel
3. Arsitektur jaringan sensor nirkabel .
4. Tipe komunikasi jaringan sensor nirkabel.
5. Topologi jaringan sensor nirkabel
6. Macam-macam tipe jaringan sensor nirkabel.
7. Pengaplikasian jaringan sensor nirkabel .

D. Uraian Materi

1. Pengertian Jaringan Sensor Nirkabel atau WSN

Dalam kehidupan sehari-hari manusia dihadapkan pada berbagai masalah dalam pekerjaan atau aktifitas kegiatannya. Diantaranya adalah ketika manusia ingin mengamati suatu objek dari kejauhan sambil melakukan kegiatan di tempatnya berada. Atau ketika manusia ingin mengamati suatu objek yang sulit dijangkau di tempat yang berbahaya. Atau ketika manusia ingin mengamati gejala alam di banyak tempat dalam satu waktu bersamaan. Permasalahan-permasalahan tersebut dapat terjawab dengan adanya teknologi instrumen penginderaan yang dipadukan dengan teknologi jaringan komunikasi. Dalam bab ini akan membahas suatu konsep yang memadukan berbagai macam instrumen penginderaan dengan jaringan komunikasi nirkabel yang disebut teknologi jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network* (WSN).

Teknologi jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network* (WSN) adalah suatu jaringan nirkabel yang terdiri atas perangkat-perangkat otonom yang didistribusikan secara spasial menggunakan sensor untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan (National Instrument, nd). Teknologi jaringan sensor nirkabel atau WSN memanfaatkan sensor-sensor untuk memonitor kondisi fisik atau lingkungan seperti kelembaban udara, suhu udara, kadar keasaman (pH), polusi udara, kecepatan angin, pemantauan mesin industri dan lain sebagainya. Sensor-sensor tersebut dilengkapi sistem akuisisi data, pengolah data dan dihubungkan dengan jaringan komunikasi nirkabel yang memungkinkan pertukaran informasi agar data hasil pengukuran yang sudah diproses dapat dikumpulkan dan dikirimkan ke stasiun pemantau atau pengguna.

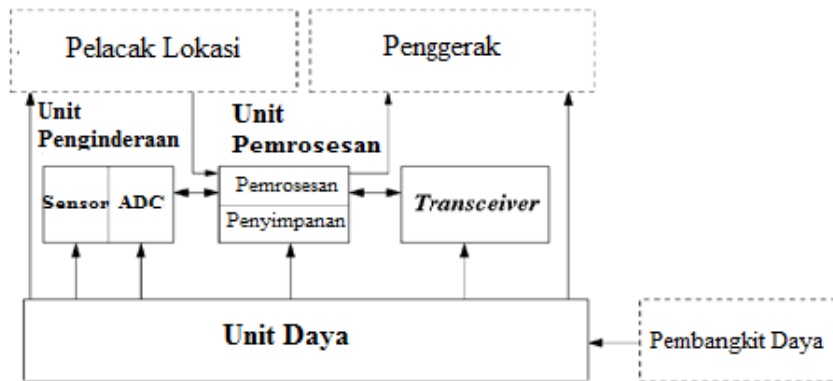
2. Sejarah WSN

Untuk memahami teknologi sensor nirkabel atau WSN penting bagi kita menapaki sejarah singkat tentang WSN. Asal mula WSN ditujukan untuk aplikasi militer dan industri berat, lalu beralih ke industri ringan dan digunakan secara umum sebagai aplikasi WSN seperti saat ini. Jaringan nirkabel awalnya mirip seperti modem yang digunakan pada proyek *Sound Surveillance System* (SOSUS), yang dibangun oleh militer Amerika Serikat pada tahun 1950 untuk mendeteksi dan melacak kapal selam Uni Soviet. Jaringan tersebut menggunakan sensor akustik terendam yang disebut hidrofon yang didistribusikan di samudra Atlantik dan samudra Pasifik.

Penelitian yang dilakukan pada periode 1960-an dan 1970-an menghasilkan perangkat keras yang saat ini digunakan untuk internet. Pada awal tahun 1980-an sebuah proyek organisasi militer milik Amerika Serikat yang disebut *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) memulai *Distributed Sensor Network* (DSN) atau Jaringan Sensor Terdistribusi sebagai upaya menjawab tantangan atau mengimplementasikan jaringan sensor nirkabel/terdistribusi. Lahirnya jaringan sensor terdistribusi (DSN) dan perkembangannya di akademi melalui universitas rekanan seperti Carnegie Mellon University and the Massachusetts Institute of Technology Lincoln Labs membuat teknologi WSN cepat dikenal oleh dunia akademis dan penelitian ilmiah masyarakat sipil.

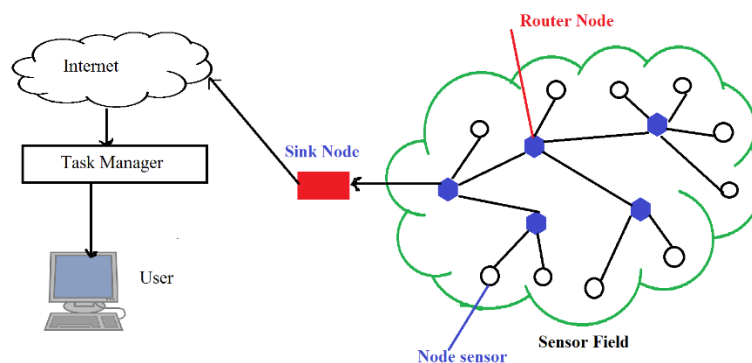
3. Arsitekur WSN

Bagian terpenting dari jaringan sensor nirkabel adalah *node* sensor. *Node* sensor terdiri dari empat komponen dasar yaitu: unit penginderaan, unit pemrosesan, unit transceiver, dan unit daya ditunjukkan pada Gambar 5.1. Bagian-bagian tersebut dapat memiliki komponen tambahan yang tergantung pada pengaplikasiannya seperti sistem pencarian lokasi, generator listrik dan mobilisator. Unit penginderaan biasanya terdiri dari dua subunit yaitu sensor dan *analog to digital converter* (ADC). Sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor berdasarkan fenomena yang diamati. Sinyal tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal digital oleh ADC, dan kemudian dimasukkan ke dalam unit pemrosesan. Unit pemrosesan umumnya terkait dengan unit penyimpanan data. Tugas unit pemrosesan yaitu mengatur bagaimana node sensor berkolaborasi dengan node lain untuk melakukan tugas penginderaan. Unit transceiver menghubungkan node sensor ke jaringan. Selain beberapa komponen tersebut, salah satu komponen terpenting dari node sensor adalah unit daya. Unit daya dapat didukung oleh unit pembangkit daya seperti sel surya. Ada juga sub unit lain, yang tergantung pada kebutuhan pengaplikasian node sensor. Sebagai contoh, sub unit pelacak lokasi dan sub unit penggerak.



Gambar 0.1 Arsitektur Node Sensor

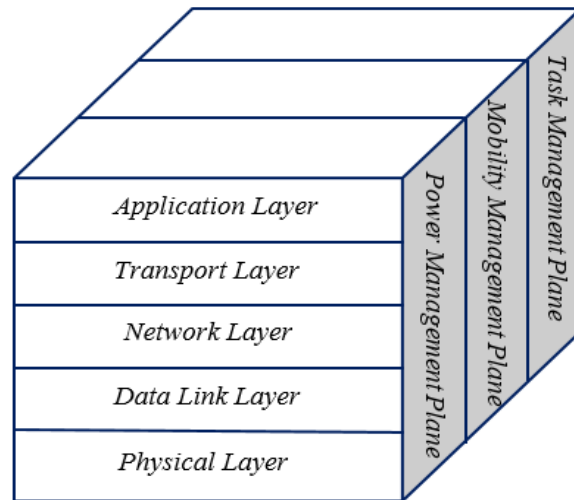
Node sensor biasanya tersebar di medan sensor (*sensor field*) ditunjukkan pada Gambar 5.2. Setiap node sensor yang tersebar memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan merutekan data kembali ke *sink* dan pengguna. Data dirutekan kembali ke pengguna oleh infrastruktur arsitektur multihop melalui *sink*. *Sink* dapat berkomunikasi dengan *task manager node* melalui Internet atau Satelit. (Akyildiz *et al.*, 2002)



Gambar 0.2 Arsitektur Jaringan Sensor Nirkabel

Susunan protokol yang digunakan oleh *sink* dan semua node sensor untuk berkomunikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3. Susunan protokol ini mengkombinasikan pengaturan daya dan pe-rutean (*routing*), mengintegrasikan data dengan protokol jaringan, mengkomunikasikan daya secara efisien melalui media nirkabel, dan mendukung upaya kerja sama antar node sensor. Susunan protokol tersebut terdiri dari lapisan aplikasi (*application layer*), lapisan transport (*transport layer*), lapisan jaringan (*network layer*), lapisan tautan data (*data link layer*), lapisan fisik (*physical layer*), bidang manajemen daya (*power management plane*), bidang

manajemen mobilitas (*mobility management plane*), dan bidang manajemen tugas (*task management plane*).



Gambar 0.3 Protokol Komunikasi Jaringan Sensor Nirkabel

Berdasarkan pada tugas sistem penginderaan, berbagai jenis perangkat lunak aplikasi dapat dibangun dan digunakan pada lapisan aplikasi. Lapisan transportasi membantu menjaga aliran data jika aplikasi jaringan sensor memerlukannya. Lapisan jaringan menangani perutean data yang disediakan oleh lapisan transportasi. Lapisan fisik menangani kebutuhan modulasi, transmisi dan teknik penerimaan data. Selain itu, bidang manajemen daya, manajemen mobilitas, dan manajemen tugas memantau distribusi daya, gerakan, dan tugas di antara node sensor. Bidang-bidang tersebut membantu node sensor mengoordinasikan tugas penginderaan dan menurunkan konsumsi daya secara keseluruhan.

4. Tipe komunikasi WSN

Komunikasi dalam WSN dibagi menjadi dua yaitu komunikasi *single hop* dan komunikasi *multi hop* (Djedouboum *et al.*, 2018).

a. Komunikasi Single Hop

Komunikasi *single hop* mengarah pada transmisi jarak jauh yang menghasilkan peningkatan konsumsi energi yang signifikan. Pada komunikasi *single hop* node sensor mengirim data langsung ke sink.

b. Komunikasi Multi Hop

Menggunakan komunikasi *multihop* mengurangi jarak transmisi, sehingga mengurangi kehilangan energi untuk meningkatkan masa pakai jaringan. Dalam

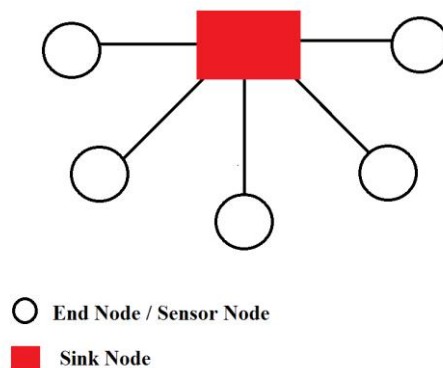
transmisi *multi hop*, arsitektur jaringan memainkan peran utama. Arsitektur jaringan multihop biasanya dibagi menjadi arsitektur datar atau hierarkis. Pada komunikasi *multi hop* node sensor mengirim data dengan berkomunikasi antar node untuk mencapai sink.

5. Topologi jaringan sensor nirkabel

Pengembangan dan penyebaran WSN dapat menggunakan topologi jaringan tradisional. Topologi jaringan sensor nirkabel dibedakan menjadi topologi Tree, Star, dan Mesh

a. Topologi Star

Topologi Star (ditunjukkan pada Gambar 5.4) merupakan topologi paling dasar, dimana setiap node mempertahankan satu jalur komunikasi langsung dengan *sink / gateway* (Amalina, Setijadi and Suwardi, 2013). Pada topologi star node tidak dapat berkomunikasi secara langsung satu sama lain dan terhubung ke hub komunikasi terpusat (*sink*). Seluruh komunikasi harus dialihkan melalui hub terpusat. Setiap node kemudian menjadi "klien" sementara hub pusat adalah *server* atau *sink*. Kelemahan topologi ini adalah komunikasi menggunakan jalur tunggal (Li and Yang, no date).



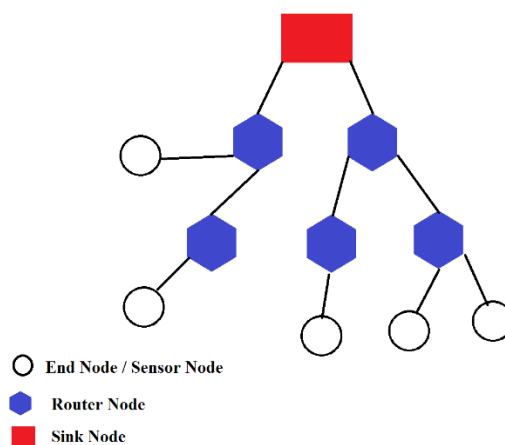
Gambar 0.4 Topologi Star Pada Jaringan Sensor Nirkabel

b. Topologi Hierarki/Tree

Arsitektur topologi hierarki/tree (ditunjukkan pada Gambar 5.5) lebih kompleks dibandingkan dengan topologi star, dimana setiap *node* masih mempertahankan satu jalur komunikasi untuk *gateway*. Perbedaannya yaitu pada

topologi hierarki/tree menggunakan node-node lain dalam mengirimkan data, namun masih dalam satu jalur tersebut.

Jaringan menggunakan hub pusat yang disebut *root node* sebagai router komunikasi utama. Dalam topologi hierarki/tree, hub pusat adalah satu tingkat di bawah ini dari simpul akar. Tingkat yang lebih rendah ini membentuk jaringan bintang. Jaringan topologi tree dapat dianggap sebagai hibrida dari topologi jaringan Star dan *Peer to Peer*. Dalam jalur jaringan sensor dapat berupa hop tunggal atau multi hop, simpul sensor untuk mendapatkan data merasakan lingkungan dan mengirimkannya ke wastafel dan sensor meneruskannya ke induknya setelah menerima pesan data dari anak-anaknya. Penting untuk menemukan jalur terpendek yang optimal dengan masa pakai maksimum dan waktu tunda yang lebih pendek tetapi kompleksitas waktu sedikit tinggi dan tetapi lebih cocok untuk implementasi yang didistribusikan. Ada masalah dalam skema penyeimbangan beban di setiap tingkat pohon dan ada komunikasi di antara dua node. Jika ada putus tautan di uni-path pada rute aktif maka komunikasi juga putus.

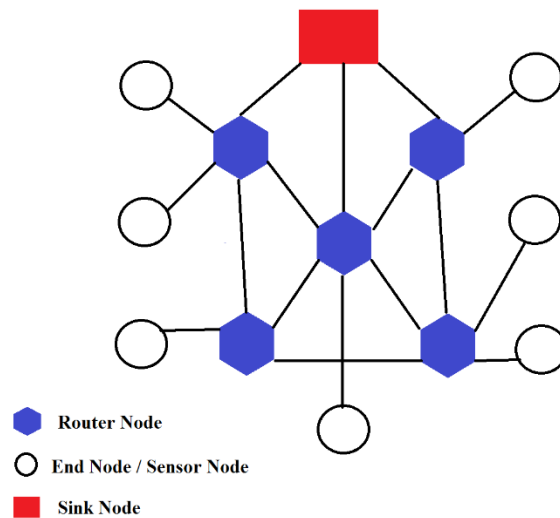


Gambar 0.5 Topologi Tree / Cluster

c. Topologi Mesh

Pengiriman pesan pada topologi mesh dapat menggunakan salah satu dari beberapa jalur data dari sumber ke tujuan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6. Jaringan mesh di mana setiap node terhubung satu sama lain disebut mesh penuh dan ada jaringan mesh parsial juga ada di mana beberapa perangkat (*node*) hanya terhubung secara tidak langsung ke *node* lain.

Topologi mesh merupakan jalur komunikasi di mana masing-masing *node* dapat berkomunikasi dengan yang lain. Dalam sebuah jaringan mesh, *node* mempertahankan jalur komunikasi untuk kembali ke gateway, sehingga jika salah satu *node router* turun, secara otomatis data router akan dilewatkan melalui jalur yang berbeda.



Gambar 0.6 Topologi Mesh pada Jaringan Sensor Nirkabel

Pada LS-WSN (*large scale wireless sensor network*), jaringan terdiri dari sejumlah besar node kepadatan/kerapatan tinggi yang digunakan di area deteksi, dengan satu atau lebih stasiun pangkalan (*base station*) di dalam atau di dekat area tersebut. *Base station* berkomunikasi dengan sensor melalui permintaan atau perintah, dan sensor berkomunikasi satu sama lain melalui komunikasi nirkabel. *Base sensor* berpartisipasi dalam melakukan tugas pendeteksian dan pengiriman data ke stasiun pangkalan.

6. Macam-macam tipe WSN

WSN berdasarkan lingkungan kerja pengaplikasian digolongkan menjadi WSN terestrial, WSN bawah tanah, WSN bawah air, WSN multimedia, dan WSN *Mobile* (Kovi, Jangam and Kosgi, 2017) :

a. WSN Terestrial

Sesuai namanya WSN terestrial merupakan jaringan sensor nirkabel yang diaplikasikan di atas permukaan tanah. WSN terestrial terdiri dari ratusan atau ribuan *node* sensor nirkabel, *node* ini diposisikan menjadi *node* terstruktur (dengan pra-perencanaan) dan tidak terstruktur (*ad-hoc*). Dalam mode tidak terstruktur *node* sensor

didistribusikan secara acak ke area target. Dalam mode terstruktur node sensor didistribusikan dengan mempertimbangkan penempatan optimal, penempatan grid, model penempatan 2D dan 3D. Selain itu node sensor harus dapat berkomunikasi dengan stasiun pangkalan di WSN terrestrial.

b. WSN bawah tanah

WSN bawah tanah terdiri dari node sensor bawah tanah yang terhubung secara nirkabel, dikomunikasikan melewati tanah dan digunakan untuk mendeteksi dan memantau situasi bawah tanah. Transmisi informasi dari node sensor ke base station dilakukan oleh *sink node*. Dalam hal peralatan, pengembangan dan pemeliharaan WSN bawah tanah lebih mahal daripada WSN terrestrial karena node baterai sensor memiliki masa pakai baterai terbatas dan sulit diisi ulang. Node sensor bawah tanah jauh lebih mahal karena komponen yang digunakan harus orisinal untuk komunikasi yang andal menembus tanah, batu, air, dan konten mineral lainnya. Untuk meningkatkan WSN bawah tanah seumur hidup jaringan harus merencanakan energi dan biaya yang efisien

c. WSN bawah air

WSN bawah air terdiri dari sejumlah node sensor dan kendaraan yang ditempatkan di bawah air. Dibandingkan dengan WSN terrestrial, node sensor bawah air lebih mahal dan lebih padat (lebih rapat). Tantangan terbesar dalam pengaplikasian WSN bawah air antara lain kegagalan sensor, *bandwidth* dan penundaan propagasi yang lama. Node sensor bawah air memiliki banyak aplikasi potensial yaitu: pemantauan seismik, pemantauan dan kontrol peralatan dan kawanan robot bawah air..

d. WSN Multimedia

WSN multimedia digunakan untuk memungkinkan monitor dan melacak peristiwa dalam bentuk multimedia. WSN multimedia menghubungkan perangkat yang memungkinkan pengambilan video, audio, gambar foto dan data sensor. Node sensor terdiri atas kamera, mikrofon dan sensor pendukung lainnya. Kompresi data, pengambilan data dan hubungan antar node sensor satu sama lain dilakukan dengan koneksi nirkabel. Tantangan pada pengimplementasian WSN multimedia diantaranya yaitu konsumsi energi yang tinggi, persyaratan bandwidth yang tinggi, kualitas layanan (QoS), teknik pengolahan data dan kompresi dan desain crosslayer. Komunikasi video membutuhkan *bandwidth* tinggi untuk mengirimkan konten, sehingga konsumsi energi tinggi ketika laju data tinggi.

e. WSN Mobile

WSN *Mobile* terdiri dari serangkaian sensor yang dapat berinteraksi dengan lingkungan fisik dan *node* sensor dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Node seluler dapat berkomunikasi, menghitung dan melakukan pengideraan. Node seluler dapat mengatur dan mengubah posisinya sendiri di dalam jaringan. WSN *mobile* bekerja dengan posisi dan keadaan awal lalu *node* akan menyebar untuk mengumpulkan informasi. Node seluler berkomunikasi satu sama lain dan mentransfer informasi yang dikumpulkan saat berada dalam jangkauan. Tantangan dalam pengimplementasian WSN *mobile* antara lain penyebaran, pengaturan otonom node seluler, penentuan lokasi, energi, navigasi dan kontrol, cakupan, pemeliharaan dan proses data. Aplikasi untuk WSN seluler adalah pemantauan lingkungan, pelacakan target, pencarian dan penyelamatan, serta pemantauan bahaya secara *real-time*. Keuntungan WSN *mobile* yaitu lebih fleksibel dibandingkan dengan sistem jaringan sensor statis lainnya.

7. Pengaplikasian WSN

Ada beberapa pengaplikasian WSN sebagai solusi berdasarkan aspek kebutuhan manusia, berikut ini beberapa contohnya: (Jayakumar, Devi and Sreeja, 2018)

a. Pemantauan area

Pemantauan area merupakan pengaplikasian WSN yang umum. Pada pemantauan area, WSN dikerahkan/disebarkan di lokasi fenomena yang akan dipantau. Contoh pengaplikasian militer adalah penggunaan sensor mendeteksi intrusi musuh; contoh pengaplikasian masyarakat sipil adalah pengawasan/pemantauan pipa bahan bakar atau minyak.

b. Program militer

Berdasarkan sejarahnya diketahui bahwa WSN berawal dari proyek militer. Jaringan sensor nirkabel atau WSN dapat menjadi bagian penting dari komando militer, kontrol, komunikasi, komputasi, intelijen, pengawasan, pengintaian, dan struktur penargetan.

c. Program lingkungan

Pengaplikasian WSN pada program lingkungan terdiri dari: pemantauan pergerakan burung, hewan kecil dan serangga yang memantau kondisi lingkungan yang mempengaruhi vegetasi dan ternak; perangkat irigasi makro untuk pelacakan bumi skala besar dan eksplorasi planet; pendeteksi faktor biologis dan kimia pada pertanian organik;

pemantauan bumi dan lingkungan laut, tanah, dan atmosfer kawasan hutan; deteksi kebakaran; meteorologi atau studi geofisika; deteksi banjir; pemetaan bio-kompleksitas; pemetaan lingkungan ; dan mengamati polutan.

d. Pendeteksi kebakaran hutan

Jaringan sensor nirkabel atau WSN memungkinkan node sensor ditempatkan secara strategis, acak dan merata di daerah hutan. Node sensor dapat menyampaikan titik api ke pengguna lebih awal sehingga kebakaran tidak meluas.

e. Pemetaan Bio-kompleksitas (keanekaragaman hayati) lingkungan

Pemetaan keanekaragaman hayati lingkungan membutuhkan pendekatan tepat dan ramah lingkungan untuk mengintegrasikan informasi di seluruh skala temporal (skala waktu) dan spasial (skala jarak). Kemajuan teknologi dalam penginderaan jarak jauh dan pengumpulan statistik otomatis telah memungkinkan resolusi spasial, spektral, dan temporal yang lebih baik. Seiring dengan kemajuan tersebut, node sensor juga memiliki kemampuan untuk terhubung dengan internet yang memungkinkan pengguna jauh untuk mengarahkan, memantau dan melihat bio-kompleksitas di lingkungan sekitar.

f. Aplikasi kesehatan

Pengaplikasian WSN pada program kesehatan menawarkan antarmuka untuk penyandang cacat dan termasuk pemantauan pasien, diagnosa, manajemen obat di rumah sakit. Telemonitoring terhadap catatan fisiologis manusia, selanjutnya tatistik fisiologis yang diperoleh melalui jaringan sensor dapat disimpan untuk periode waktu yang lama dan dapat digunakan untuk eksplorasi klinis. Jaringan sensor yang ada juga dapat memantau dan mendeteksi perilaku orang lanjut usia. Node sensor kecil ini memungkinkan subjek lebih bebas bergerak dan memungkinkan dokter untuk menganalisis gejala yang muncul. Setiap pasien memiliki node sensor kecil dan ringan yang terhubung dengannya. Setiap node sensor memiliki tugas khusus. Sebagai contoh, satu node sensor mungkin mendeteksi jantung koroner bahkan ketika yang node sensor lain mendeteksi tekanan darah.

g. Program pemantauan rumah

Otomatisasi rumah sebagai kemajuan zaman dilakukan dengan memasukan node sensor dan aktuator dalam peralatan rumah seperti penyedot debu (*vacum cleaner*), oven *microwave*, lemari es, dan VCR. Node sensor yang dimasukkan pada peralatan rumah tersebut dapat berinteraksi satu sama lain melalui jaringan internet atau satelit. Alat rumah

tersebut memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat rumah dengan lebih mudah.

E. Rangkuman Materi

1. Jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network (WSN)* adalah suatu jaringan nirkabel yang terdiri atas perangkat-perangkat otonom yang didistribusikan secara spasial menggunakan sensor untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan yang memungkinkan pertukaran informasi.
2. Komunikasi pada jaringan sensor nirkabel dibedakan menjadi komunikasi *single hop* di mana node sensor berkomunikasi langsung dengan *sink* dan komunikasi *multi hop* di mana antar node saling berkomunikasi untuk mencapai *sink*.
3. Topologi jaringan pada jaringan sensor nirkabel dapat dibedakan menjadi topologi star, topologi tree dan topologi mesh.
4. Berdasarkan lokasi pengaplikasiannya jaringan sensor nirkabel dapat dibedakan menjadi WSN terestrial, WSN bawah tanah, WSN bawah air, WSN multimedia dan WSN mobile.
5. Jaringan sensor nirkabel dapat diaplikasikan pada berbagai kebutuhan manusia, diantaranya untuk program militer, lingkungan, pendeteksi kebakaran hutan, pemantau keanekaragaman hayati, pada pemantau alat kesehatan dan kebutuhan lainnya.

F. Tugas

Buatlah kelompok dan rancang sebuah sistem jaringan sensor nirkabel yang terdiri atas 4 node sensor di mana tiap-tiap node menggunakan minimal 2 sensor, lalu presentasikan hasil rancangan tersebut !

G. Tes Formatif

1) Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal pilihan ganda di bawah ini !

1. Apa yang dimaksud dengan jaringan sensor nirkabel atau WSN?
 - a. Sekumpulan sensor yang terhubung dengan jaringan nirkabel
 - b. Jaringan internet untuk komunikasi

- c. Perangkat seluler untuk bertukar pesan
 - d. Sekumpulan komputer yang saling terhubung
2. Berikut ini topologi jaringan sensor nirkabel, *kecuali* ?
 - a. Star
 - b. Mesh
 - c. Tree
 - d. Sun
 3. Berikut ini yang bukan merupakan tipe pengaplikasian jaringan sensor nirkabel adalah...
 - a. Terrestrial
 - b. Multihop
 - c. Bawah tanah
 - d. Bawah air
 4. Lapisan yang berfungsi menjaga aliran data pada protokol komunikasi jaringan sensor nirkabel adalah...
 - a. Lapisan aplikasi
 - b. Lapisan transportasi
 - c. Lapisan fisik
 - d. Lapisan jaringan
 5. Perbedaan WSN mobile dibandingkan dengan tipe WSN yang lain adalah...
 - a. Node sensor menggunakan sensor khusus
 - b. Node sensor lebih banyak
 - c. Node sensor dapat berpindah tempat
 - d. Node sensor yang digunakan beroperasi di bawah tanah
- 2) Essay
1. Jelaskan dan berikan contoh pengaplikasian jaringan sensor nirkabel?
 2. Sebutkan dan jelaskan jenis topologi jaringan yang umum digunakan pada jaringan sensor nirkabel?
 3. Jelaskan perbedaan komunikasi *single hop* dan komunikasi *multi hop* !

H. Glosarium

Istilah	Pengertian
Nirkabel	Nirkabel adalah transfer informasi antara dua atau lebih titik yang tidak terhubung oleh penghantar listrik
Terrestrial	Terrestrial berarti terkait dengan tanah atau permukaan tanah

Topologi	Topologi jaringan adalah hal yang menjelaskan hubungan geometris antara unsur-unsur dasar penyusun jaringan, yaitu node, link, dan station.
<i>Gateway</i>	<i>Gateway</i> atau Gerbang jaringan adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk menghubungkan satu jaringan dengan satu atau lebih jaringan lainnya yang menggunakan kaidah komunikasi yang berbeda sehingga informasi dari satu jaringan dapat dialihantarkan ke jaringan yang lain dengan kaidah jaringan berbeda
<i>Mobile</i>	<i>Mobile</i> adalah kata sifat yang berarti dapat bergerak atau dapat digerakkan dengan bebas dan mudah. Namun <i>mobile</i> dapat pula diartikan sebuah benda yang berteknologi tinggi dan dapat bergerak tanpa menggunakan kabel.
Hierarki	Hierarki adalah suatu susunan hal di mana hal-hal tersebut dikemukakan sebagai berada di "atas," "bawah," atau "pada tingkat yang sama" dengan yang lainnya
Multimedia	Multimedia adalah penggunaan perangkat teknologi untuk menyajikan dan menggabungkan teks, suara, gambar, animasi, audio dan video dengan alat bantu dan koneksi sehingga pengguna dapat melakukan navigasi, berinteraksi, berkarya dan berkomunikasi.

I. Daftar Pustaka

1. Akyildiz, I. F. *et al.* (2002) 'Wireless sensor networks : a survey', 38, pp. 393–422.
2. Amalina, E. N., Setijadi, E. and Suwardi (2013) 'Perbandingan Topologi WSN (Wireless Sensor Network) Untuk Sistem Pemantauan Jembatan', in *Prosiding Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems*, pp. 14–15.
3. Djedouboum, A. C. *et al.* (2018) 'Big data collection in large-scale wireless sensor

- networks', *MDPI*, 18(12), pp. 1–34. doi: 10.3390/s18124474.
4. Jayakumar, L., Devi, S. G. and Sreeja, B. P. (2018) 'Wireless sensor network applications : A study', (January). doi: 10.12732/ijpam.v118i11.47.
 5. Kovi, S. K., Jangam, P. and Kosgi, S. umar G. (2017) 'Wireless sensor networks and applications', (June). doi: 10.13140/RG.2.2.23192.19207.
 6. Li, M. and Yang, B. (no date) 'A Survey on Topology issues in Wireless Sensor Network'.
 7. National Instrument (no date) 'What Is a Wireless Sensor Network ?', pp. 1–4.

BAB VI

APLIKASI SENSOR DAN TRANSDUSER

A. Capaian Pembelajaran

1. Mampu memahami penggunaan jenis sensor dan transduser.
2. Mampu memahami aplikasi sensor dan transduser di masyarakat dan industri.

B. Sub Capaian Pembelajaran

1. Mampu menjelaskan penggunaan beberapa jenis sensor dan transduser.
2. Mampu menjelaskan aplikasi sensor dan transduser di masyarakat.
3. Mampu menjelaskan aplikasi sensor dan transduser di industri.

C. Pokok-Pokok Materi (Peta Konsep)

1. Aplikasi sensor di masyarakat/industri.
2. Aplikasi transduser di masyarakat/industri.

D. Uraian Materi

Industri adalah sekumpulan usaha-usaha yang sejenis dalam menghasilkan produksi barang maupun jasa. Adapun pengertian industri menurut para ahli yaitu sebagai berikut :

Menurut **George T. Renner**, Industri adalah semua kegiatan manusia dalam bidang ekonomi yang produktif / menghasilkan barang dan uang. Menurut **I Made Sandi**, industri adalah usaha untuk memproduksi barang jadi dengan bahan baku atau bahan mentah melalui proses produksi penggarapan dalam jumlah besar sehingga barang tersebut dapat diperoleh dengan harga serendah mungkin tetapi dengan mutu setinggi-tingginya ([Julianto dan Suparno, 2016](#)).

Dalam kehidupan sehari-hari khususnya para teknisi dalam dunia industri sering menjumpai berbagai macam sensor yang digunakan dalam proses produksi ataupun yang lainnya. kebutuhan sensor dalam perkembangan industri sangat berpengaruh. Sensor dan transduser merupakan peralatan atau komponen yang mempunyai peranan penting dalam sebuah sistem pengaturan otomatis. Ketepatan dan kesesuaian dalam memilih sebuah sensor akan sangat menentukan kinerja dari sistem pengaturan secara

otomatis. Besaran masukan pada kebanyakan sistem kendali adalah bukan besaran listrik, seperti besaran fisika, kimia, mekanis dan sebagainya. Untuk memakaikan besaran listrik pada sistem pengukuran, atau sistem manipulasi atau sistem pengontrolan, maka biasanya besaran yang bukan listrik diubah terlebih dahulu menjadi suatu sinyal listrik melalui sebuah alat yang disebut transduser.

Beberapa sensor dan transduser yang dapat di aplikasikan fungsinya di industri adalah sebagai berikut.

1. Prototipe Sistem Distribusi Barang Berdasarkan Warna, Tinggi, dan Bahan Menggunakan PLC Berbasis HMI.

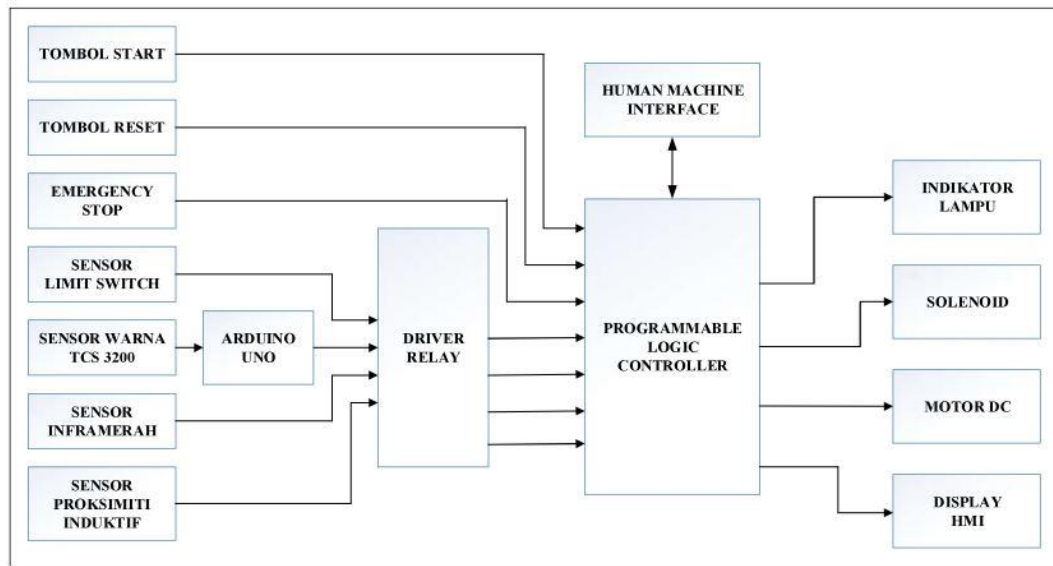
Pada bidang industri, beberapa sensor dan transduser dapat dimanfaatkan untuk memudahkan dan memberikan efek efisien dan efektifitas kinerja sebuah industri. Pada suatu sistem alat operasi mesin pabrik dibutuhkan beberapa komponen pendukung untuk memenuhi target pasar. Sebagai contoh pemanfaatan beberapa sensor dan transduser adalah prototipe sistem distribusi barang berdasarkan warna, tinggi, dan bahan menggunakan plc berbasis HMI. Gambar 6.1. merupakan prototipe distribusi barang tampak atas (Bukhari, 2018).



Gambar 6.1. Prototipe Distribusi Barang Tampak Atas

(Sumber: Bukhari, 2018)

Untuk membentuk suatu sistem yang sesuai dengan tujuan, maka Gambar 6.2. adalah blok diagram sistem prototipe distribusi barang.



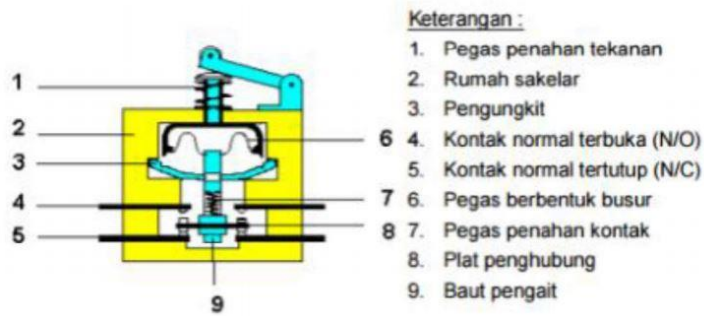
Gambar 6.2. Blok Diagram

(Sumber: Bukhari, 2018)

Dalam diagram sistem yang ditunjukkan Gambar 6.2. maka ada 3 bagian utama yaitu ; Input, Proses, dan Output. Bagian yang menjadi Input diantaranya ialah; tombol start, tombol reset, *emergency stop*, *Sensor Limit Switch*, *Sensor Induktif*, *Sensor Warna TCS 3200*, dan *Sensor Inframerah*. Bagian yang menjadi Proses diantaranya ialah; PLC dan *Human Machine Interface*. Bagian yang menjadi Output diantaranya ialah; indikator lampu, tampilan *Human Machine Interface*, Solenoid, Motor DC.

Pada penjabaran blok diagram, maka dapat diketahui beberapa sensor yang digunakan sebagai data input yaitu *Sensor Limit Switch*, *Sensor Induktif*, *Sensor Warna TCS 3200*, dan *Sensor Inframerah*. Berikut adalah fungsi dari sensor yang digunakan dalam sebuah sistem.

- 1) *Sensor warna TCS 3200* adalah sebagai pembacaan warna, pengelompokkan barang berdasarkan warna, dan pencocokan warna berdasarkan beberapa photodetector filter warna merah, hijau, biru dan bening.
- 2) *Sensor limit switch* digunakan untuk kontak listrik sakelar pembatas secara mekanik dihubungkan atau diputuskan oleh gaya dari luar (dioperasikan oleh mekanik).

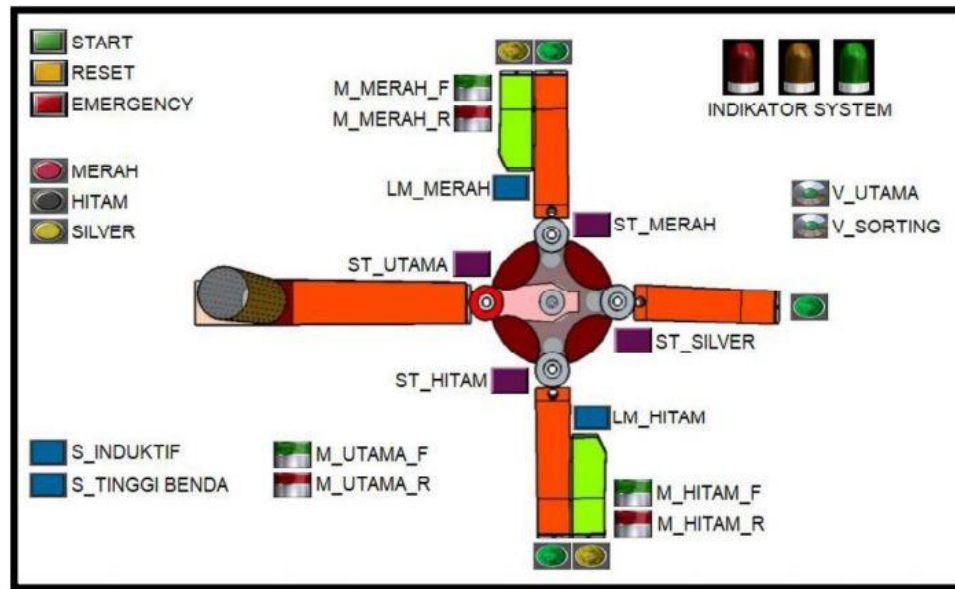


Gambar 6.3. Konstruksi *Limit Switch*

(Sumber: Bukhari, 2018)

Untuk tipe sensor *limit switch* yang digunakan jenis yang sesuai untuk PLC. Cara kerja sakelar pembatas diperlihatkan seperti Gambar 6.3. Dalam keadaan tidak aktif (tuas rol tidak tertekan), kontak N/O dalam keadaan terbuka dan kontak N/C dalam keadaan tertutup. Jika rol tertekan dengan tekanan lebih besar daripada gaya pegas penahan tekanan (1), maka pengungkit (3) menarik plat penghubung kontak (8) ke atas sehingga kontak N/O terhubung dan kontak N/C terbuka. Bila tekanan pada rol hilang, pegas penahan tekanan (1) kembali ke posisi semula dan pegas penahan kontak (7) menekan plat penghubung kontak (8) kebawah, akibatnya posisi kontak kembali seperti semula.

- 3) Sensor induktif digunakan untuk mendeteksi keberadaan benda-benda logam dengan menghasilkan medan elektromagnetik dan mendeteksi perubahan di medan. Sensor induktif harus berjarak dari benda-benda logam di sekitarnya dan sensor lain untuk menghindari yang mempengaruhi operasi sistem selama aktif.



Gambar 6.4. Desain Tampilan pada HMI

(Sumber: Bukhari, 2018)

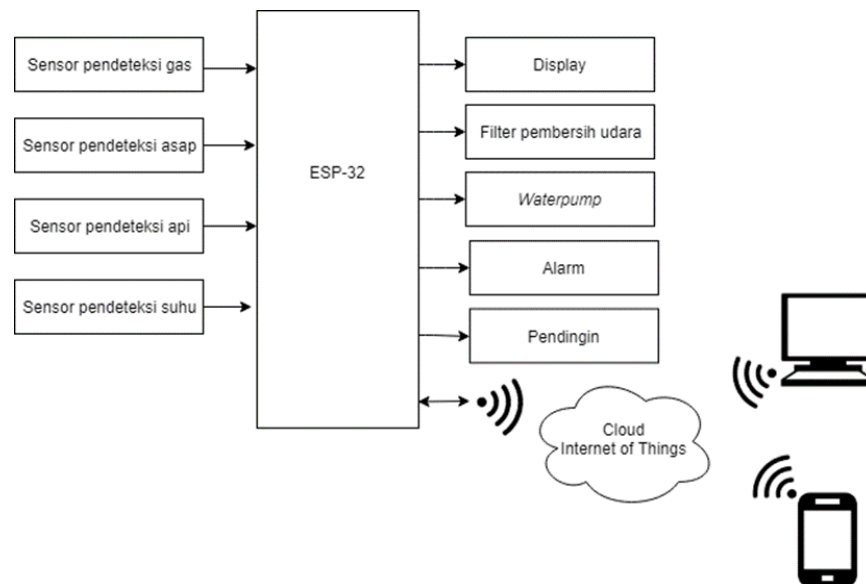
Alat ini memiliki prinsip kerja memilih barang berdasarkan warna yang kemudian dipilih kembali ukuran tinggi dan jenis bahan yang digunakan barang tersebut untuk disalurkan atau dikirim ke tempat penampungan akhirnya. Sistem akan bekerja ketika tombol emergency tidak teraktuasi dan harus diinisialisasi terlebih dahulu dengan menekan tombol reset agar kondisi alat penyalur berada pada tempat penampungan utama.

Kerja alat ini dimulai dengan memberikan tegangan masukan sekitar 24 VDC atau 220 VAC kemudian memberikan barang secara acak pada tempat penampungan, kemudian sensor warna TCS 3200 mendeteksi warna barang tersebut. Tombol start untuk memulai kerja alat, kemudian silinder utama bergerak maju untuk mengeluarkan barang yang telah dideteksi warnanya dari tempat penampungan utama, kemudian barang tersebut sampai pada alat penyalur. Di alat penyalur ini akan dideteksi apakah tinggi dari barang tersebut setinggi <math>< 2,5 \text{ cm}</math> atau bahan dari barang ini terbuat dari logam. Jika salah satu kondisi tadi terpenuhi maka akan menggerakkan motor pada tempat penyaluran akhir untuk dibedakan kembali. Alat penyalur bergerak untuk mengantarkan barang ke tempat penampungan akhirnya. Ketika sampai pada tempat penampungan akhir silinder penyalur akan mendorong barang untuk dikeluarkan dari tempat penyaluran kemudian alat penyalur kembali ke tempat penampungan utama.

Sistem bekerja secara terus menerus sampai barang yang berada di tempat penampungan habis. Sistem distribusi ini bekerja secara otomatis dan dapat dipantau serta dikendalikan dalam tampilan scada pada komputer atau laptop yang sudah dikonfigurasi untuk melihat kerja sistem distribusi ini.

2. Prototipe Sistem Proteksi Kebocoran Gas dan Deteksi Kebakaran pada Gedung Berbasis *Internet of Things* (IoT).

Tidak hanya pemanfaatan sensor dan transduser yang digunakan sebagai pemisah warna, tinggi dan bahan suatu barang. Contoh lainnya pada kasus pengamanan gas beracun dan pendeteksian kebakaran di gedung untuk melindungi pekerja didalamnya. Diperlukannya sebuah sistem sensor yang dimanfaatkan untuk hal-hal yang tidak diinginkan, seperti kerugian materi, harta benda, kerusakan lingkungan, dan terhentinya aktifitas seperti prototipe sistem proteksi kebocoran gas dan deteksi kebakaran pada gedung berbasis *internet of things* (iot). Berikut gambar 6.5. merupakan gambar blok diagram sistem (Ramadhan, 2019).



Gambar 6.5. Blok Diagram Sistem

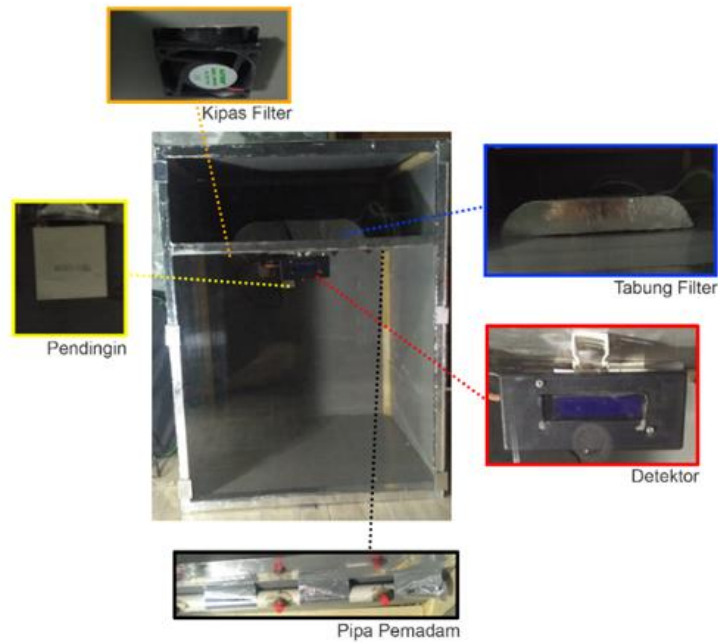
(Sumber: Ramadhan, 2019)

Dalam diagram sistem yang ditunjukkan Gambar 6.5. maka ada 3 bagian utama yaitu ; Input, Proses, dan Output. Bagian yang menjadi Input diantaranya ialah; sensor pendeteksi gas, sensor pendeteksi asap, sensor pendeteksi api dan sensor pendeteksi suhu. Bagian yang menjadi Proses diantaranya ialah; mikrokontroler ESP-32. Bagian

yang menjadi Output diantaranya ialah; display, filter pembersih udara, *waterpump*, alarm dan pendingin.

Beberapa sensor dan transduser yang digunakan pada sistem proteksi kebocoran gas dan deteksi kebakaran dimanfaatkan sebagai data masukan yang diterima dan diolah oleh mikrokontroler. Adapun fungsi sensor yang digunakan pada sistem sebagai berikut.

- 1) Sensor MQ-7 merupakan sensor gas yang digunakan dalam peralatan yang mendeteksi dan mengukur kadar gas karbon monoksida. Keluaran (*output*) yang dihasilkan dari sensor ini berupa sinyal analog. Tegangan analog sederhana sensor hanya membutuhkan satu pin input pada mikrokontroler.
- 2) Sensor MQ-135 merupakan sensor yang digunakan dalam melihat kualitas udara (*air quality*) atau mengukur polusi yang ada di udara. sensor ini mendeteksi gas amonia, bensol, alkohol, serta gas berbahaya lainnya. Sensor ini mengambil data kualitas udara berupa perubahan nilai tegangan analog. Tegangan yang dihasilkan sensor dihubungkan ke pin *analog to digital converter* (ADC) pada mikrokontroler sehingga keluaran dapat ditampilkan dalam bentuk sinyal digital.
- 3) Sensor DHT22 merupakan sensor yang dapat melakukan pengukuran terhadap suhu dan kelembaban secara bersamaan. Dengan dikalibrasinya sensor ini maka sensor tidak memerlukan komponen tambahan sehingga dapat mengukur suhu dan kelembaban relatif. Sensor ini menggunakan sensor kelembaban kapasitif dan thermistor untuk mengukur suhu di sekitarnya.
- 4) Sensor api atau *Flame sensor* merupakan sensor yang memiliki fungsi sebagai pendeteksi nyala api. Nyala api yang dideteksi yaitu nyala api yang memiliki panjang gelombang antara 760 nm – 1100 nm dengan jarak sampai dengan 100 cm. Sensor api atau *Flame sensor* menggunakan inframerah (*infrared*) sebagai transduser dalam penginderaan kondisi nyala api.



Gambar 6.6. Rancangan Sistem Ruangan
(Sumber: Ramadhan, 2019)

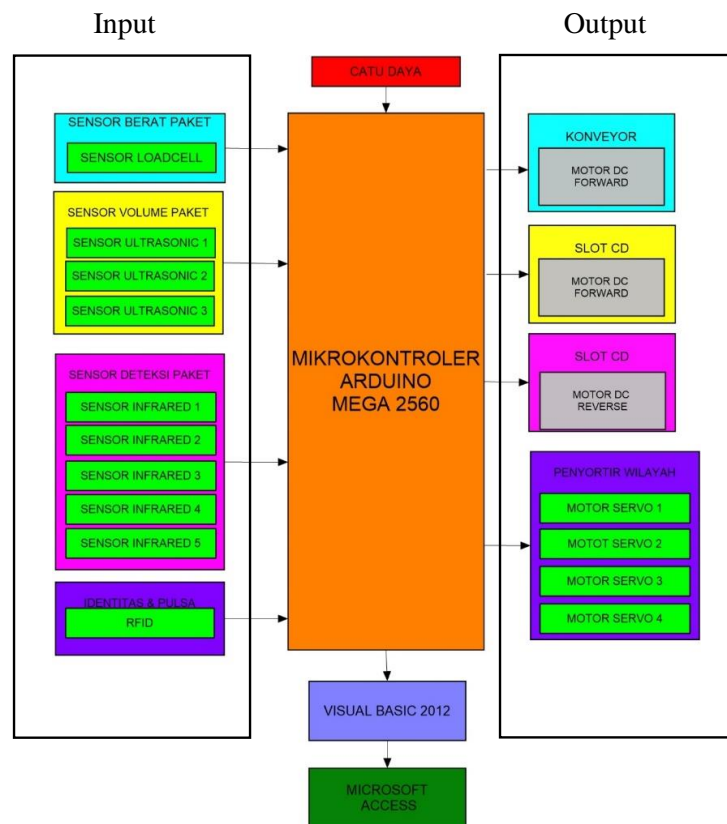
Prinsip kerja dari prototipe sistem proteksi kebocoran gas dan deteksi bahaya kebakaran pada gedung berbasis *internet of things* (IoT) memiliki prinsip kerja yang akan selalu aktif ketika diberikan sumber daya dari catu daya. Sistem ini akan selalu membaca keadaan suhu, api dan udara dalam ruangan, dimana di dalam udara akan dibaca kadar gas karbon monoksida (CO) dan amonia (NH₃).

Hasil pembacaan akan di tampilkan pada LCD yang ada pada detektor dan dikirim langsung ke web ThingSpeak serta ke ponsel pengguna yang berbasis Android dengan aplikasi Virtuno.

Ketika sensor membaca kadar gas melebihi satuan udara bersih yaitu 25 ppm maka sistem akan mengaktifkan filter udara dan akan memberikan alarm pada ponsel pengguna. Apabila terjadi kenaikan suhu hingga melebihi atau sama dengan 38°C akan langsung mengaktifkan pendingin ruangan, sedangkan apabila kenaikan suhu tersebut diiringi dengan percikan api maka sistem akan mengaktifkan pompa air untuk memadamkan api dan mengaktifkan alarm serta memberikan informasi ke tenaga ahli menggunakan PushBullet.

3. Prototipe Pensortir Paket Berdasarkan Berat, Volume, dan Wilayah Tujuan pada Jasa Pengiriman Berbasis RFID RC522, Arduino Mega 2560 dan Visual Basic 2012.

Penyortiran paket tentu memerlukan ketelitian serta kecepatan pada prosesnya, hal ini dibutuhkan agar kerugian perusahaan dapat diminimalisir. Untuk mempermudah suatu industri melakukan transaksi sesuai permintaan konsumen maka sebagai pendukung dibuatnya prototipe pensortir paket berdasarkan berat, volume, dan wilayah tujuan pada jasa pengiriman berbasis rfid rc522, arduino mega 2560 dan *visual basic* 2012.



Gambar 6.7. Blok Diagram Sistem

(Sumber: Kristianto, 2017)

Pada Gambar 6.7. menjelaskan sebuah sistem yang memiliki input; Sensor berat paket dengan menggunakan load cell, Sensor volume paket menggunakan 3 buah sensor ultrasonik, Sensor deteksi paket menggunakan 5 buah sensor infrared dan RFID untuk identitas dan pulsa. Semua data input tersebut akan diproses melalui mikrokontroler arduino mega 2560 dengan output yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan.

Berikut penjabaran fungsi sensor-sensor yang digunakan yang mendukung sistem pensortir barang.

- 1) Sensor Load cell adalah komponen utama pada sistem timbangan digital. Tingkat keakurasian timbangan bergantung dari jenis load cell yang dipakai. Sensor load cell apabila diberi beban pada inti besi maka nilai resistansi di strain gaugennya akan berubah yang dikeluarkan melalui empat buah kabel. Dua kabel sebagai eksitasi dan dua kabel lainnya sebagai sinyal keluaran ke kontrolnya.
- 2) Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang memanfaatkan pancaran gelombang ultrasonik. Sensor ultrasonik ini terdiri dari rangkaian pemancar ultrasonik yang disebut *transmitter* dan rangkaian penerima ultrasonik disebut *receiver*. HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik yang dapat digunakan untuk mengukur jarak antara penghalang dan sensor.
- 3) Sinar infra merah yang dipancarkan oleh pemancar infra merah tentunya mempunyai aturan tertentu agar data yang dipancarkan dapat diterima dengan baik pada penerima. Oleh karena itu baik di pengirim infra merah maupun penerima infra merah harus mempunyai aturan yang sama dalam mentransmisikan (bagian pengirim) dan menerima sinyal tersebut kemudianmendekodekannya kembali menjadi data biner (bagian penerima). Komponen yang dapat menerima infra merah ini merupakan komponen yang peka cahaya yang dapat berupa dioda (photodioda) atau transistor (phototransistor).

SISTEM JASA PENGIRIMAN BARANG

> Nama Pelanggan :

> Alamat Pelanggan :

> Asal :

> Wilayah Tujuan : Pulau Provinsi Kota Rp

> Volume Paket : P cm x L cm x T cm Rp

> Berat Paket : gram Rp

> Total Pembayaran : Rp

> Saldo Awal : Rp

> Saldo Akhir : Rp

ISI ULANG PULSA

> Jumlah Nominal Rp

COM

BAUD 9600

NAMA	ALAMAT	ASAL	TUJUAN	VOLUME	BERAT
Bran	Kalideres	JAWA	JAWA & BALI	360	237.97
Hebran Kalvin Kri...	Teluk Naga, Tan...	JAWA	JAWA & BALI	560	238.74
Hebran Kalvin Kri...	Teluk Naga, Tan...	JAWA	JAWA & BALI	560	237.63

Gambar 6.8. Tampilan *Visual Basic 2012*

(Sumber: Kristianto, 2017)

Berdasarkan Gambar 6.7. dan Gambar 6.8. maka prinsip kerja sistem yang beroperasi adalah prototipe penyortir paket berdasarkan berat, volume dan wilayah tujuan pada jasa pengiriman berbasis Arduino Mega 2560 dan *Visual Basic 2012* akan bekerja ketika catudaya dan seluruh subsistem telah terhubung dengan baik.

Visual basic 2012 digunakan sebagai *interface* yang berguna untuk memudahkan konsumen dalam mengoperasikan alat. Sebelum masuk kedalam proses pendataan, hal yang harus dilakukan adalah memilih port pada Komputer yang terhubung langsung dengan Arduino mega 2560 dan menekan “CONNECT”.

Pendataan menggunakan kartu RFID yang berisi data pulsa dan identitas konsumen harus ditap terlebih dahulu. Setelah data muncul pada *visual basic 2012*, selanjutnya adalah memeriksa apakah saldo perlu diisi ulang. Jika perlu maka tahap-pengisian pulsa adalah dengan mengisi nominal dan menekan “ISI” pada kolom isi pulsa. Setelah pulsa telah cukup, maka selanjutnya konsumen memilih wilayah tujuan. Pada alat ini, wilayah tujuan terdiri dari 5 pulau besar di Indonesia (SUMATERA, KALIMANTAN, SULAWESI, PAPUA & JAWA). Kelima pulau tersebut telah memiliki tarif yang berbeda-beda, begitu juga pada pengukuran volume

dan berat paket. Setelah memilih wilayah tujuan, selanjutnya paket yang telah diletakan diatas wadah pengukur akan dihitung berapa berat dan volumenya. Pengukuran volume dilakukan oleh sensor *ultrasonic* dan berat oleh sensor *loadcell*. Setelah data dan harga muncul, selanjutnya tekan “PROSES” dan harga akan otomatis terbayar. Paket akan otomatis terdorong oleh slot CD dan masuk kedalam konveyor. Motor servo akan otomatis terbuka dan ketika paket dideteksi oleh sensor infrared, motor servo akan membantu paket untuk masuk kedalam wadah wilayah tujuan. Seluruh data akan otomatis terekam dan masuk ke dalam data base *Ms. Access 2012*.

Berikut adalah langkah kerja prototipe pensortir paket berdasarkan berat, volume dan wilayah tujuan pada jasa pengiriman berbasis RFID RC522, Arduino Mega 2560 dan Visual Basic 2012 :

1. Posisikan “ON” pada catu daya yang terdapat pada alat.
2. Sambungkan kabel *USB Serial* pada alat ke *Port USB* pada laptop atau komputer.
3. Buka program sistem pensortir paket pada *Visual Basic 2012*, lalu pilih port yang terdapat pada aplikasi sesuai dengan port yang terbaca pada komputer.
4. Pilih “*Connect*” untuk menghubungkan alat dengan program, jika berhasil akan ada pemberitahuan bahwa komunikasi telah berhasil.
5. *Taping* kartu RFID sebagai sumber data pelanggan.
6. Daftar identitas baru pelanggan jika belum.
7. Pengisian pulsa jika telah mencapai limit terendah.
8. Pilih kota tujuan pengiriman paket.
9. Letakan paket pada wadah yang telah disediakan sesuai dengan pengaturan pada wadah tersebut.
10. Tekan “ PROSES ” untuk menghitung biaya berat, volume dan tujuan paket.
11. Proses pembayaran akan otomatis terbayar apabila saldo pada kartu RFID tercukupi. Jika saldo pada kartu tidak mencukupi, maka tekan “ ISI ” lalu tuliskan nominal saldo pengisian dan tekan kembali “ PROSES “ untuk melakukan pembayaran ulang.
12. Data pada *Visual Basic 2012* akan otomatis tersimpan setelah proses pembayaran diselesaikan.

E. Rangkuman Materi

1. Prototipe sistem distribusi barang berdasarkan warna, tinggi, dan bahan menggunakan plc berbasis HMI menggunakan Sensor *Limit Switch*, *Sensor Induktif*, Sensor Warna TCS 3200, dan Sensor Inframerah sebagai masukan data yang akan menerima perubahan atau respon.
2. Sensor pendeteksi gas, sensor pendeteksi asap, sensor pendeteksi api dan sensor pendeteksi suhu digunakan pada prototipe sistem proteksi kebocoran gas dan deteksi kebakaran pada gedung berbasis *internet of things* (IOT) untuk membaca keadaan suhu, api dan udara dalam ruangan, dimana di dalam udara akan dibaca kadar gas karbon monoksida (CO) dan amonia (NH₃).
3. Sensor ultrasonik, sensor infrared, dan sensor load cell dimanfaatkan sesuai kebutuhan pada prototipe pensortir paket berdasarkan berat, volume, dan wilayah tujuan pada jasa pengiriman berbasis RFID RC522, Arduino Mega 2560 dan Visual Basic 2012.

F. Tugas

Carilah prinsip kerja penerapan beberapa sensor dan transduser lainnya yang dapat digunakan pada bidang industri!

G. Tes Formatif

1) Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat dari soal-soal pilihan ganda di bawah ini!

1. Sebuah robot yang dapat mengikuti gerakan tangan operator yang berada dihadapannya, robot tersebut memiliki kemampuan sensor seperti salah satu indera pada manusia yaitu mata. Apakah jenis sensor yang fungsinya seperti mata manusia pada robot tersebut?
 - a. Kamera (*Image processing*)
 - b. Ping
 - c. Ultrasonik
 - d. *Sound Activation*
2. Sensor dan transduser yang digunakan sebagai pendeteksi ketinggian fluida pada tangki disebuah pabrik adalah?

- a. LDR
 - b. Foto Listrik
 - c. Ultrasonik
 - d. *Strain Gage*
3. Sensor yang digunakan untuk mengetahui RPM maupun kecepatan *conveyor* adalah?
- a. Proximity
 - b. Transmitter
 - c. LVDT
 - d. Potensiometer
4. Sensor yang digunakan pada sebuah sistem kontrol untuk mengatur tekanan aliran oli agar tetap stabil dengan merespon tekanan oli dengan kisaran tekanan aliran oli tertentu adalah?
- a. Proximity
 - b. Transmitter
 - c. LVDT
 - d. Potensiometer
5. Industri botol minuman memiliki berbagai jenis bahan dasar botol untuk pengemasan seperti botol plastik dan botol kaleng. Untuk membedakan bahan logam dan tidak logam dengan menggunakan sensor...
- a. Proximity induktif
 - b. Transmitter
 - c. Termokopel
 - d. Sensor api

2) Essay

1. Apa saja peranan dan fungsi sensor dalam sistem kendali industri?
2. Buatlah salah satu desain penerapan sensor ultrasonik untuk mengukur kedalaman laut dan sertakan prinsip kerjanya!

H. Glosarium

Istilah	Pengertian
Industri	Usaha untuk memproduksi barang jadi dengan bahan baku atau bahan mentah melalui proses produksi penggarapan dalam jumlah besar sehingga barang tersebut dapat diperoleh dengan harga serendah mungkin tetapi dengan mutu setinggi-tingginya.
Sensor Warna	Pembacaan warna, pengelompokkan barang berdasarkan warna, dan pencocokan warna berdasarkan beberapa photodetector filter warna merah, hijau, biru dan bening.
Sensor <i>Limit Switch</i>	Kontak listrik sakelar pembatas secara mekanik dihubungkan atau diputuskan oleh gaya dari luar (dioperasikan oleh mekanik).
Sensor Induktif	Mendeteksi keberadaan benda-benda logam dengan menghasilkan medan elektromagnetik dan mendeteksi perubahan di medan.
Sensor MQ-7	Sensor gas yang digunakan dalam peralatan yang mendeteksi dan mengukur kadar gas karbon monoksida.
Sensor MQ-135	Sensor yang digunakan dalam melihat kualitas udara (<i>air quality</i>) atau mengukur polusi yang ada di udara. sensor ini mendeteksi gas amonia, bensol, alkohol, serta gas berbahaya lainnya.
Sensor DHT22	Sensor yang dapat melakukan pengukuran terhadap suhu dan kelembaban secara bersamaan.
Sensor Api Atau <i>Flame Sensor</i>	Sensor yang memiliki fungsi sebagai pendeteksi nyala api.
Sensor Load Cell	Apabila diberi beban pada inti besi maka nilai resistansi di strain gauganya akan berubah yang dikeluarkan melalui empat buah kabel. Dua kabel sebagai eksitasi

	dan dua kabel lainnya sebagai sinyal keluaran ke kontrolnya.
Sensor Ultrasonik	Sebuah sensor yang memanfaatkan pancaran gelombang ultrasonik.

I. Daftar Pustaka

1. Bukhari, Ahmad. (2018). *Prototipe Sistem Distribusi Barang Berdasarkan Warna, Tinggi, Dan Bahan Menggunakan PLC Berbasis HMI* [skripsi]. Jakarta: Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta.
2. Dunn, William C. (2006). *Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control*. ISBN-10: 1-58053-011-7.
3. Julianto, Foengsitanjoyo Trisantoso & Suparno. 2016. *Analisis Pengaruh Jumlah Industri Besar dan Upah Minimum Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kota Surabaya*. Jurnal Ekonomi & Bisnis, 1(2):229-256.
4. Kristianto, Hebran Calvin. (2017). *Prototipe Pensortir Paket Berdasarkan Berat, Volume Dan Wilayah Tujuan Pada Jasa Pengiriman Berbasis Rfid Rc522, Arduino Mega 2560 Dan Visual Basic 2012* [skripsi]. Jakarta: Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta.
5. Ramadhan, Ali. (2019). *Prototipe Sistem Proteksi Kebocoran Gas Dan Deteksi Kebakaran Pada Gedung Berbasis Internet Of Things (IoT)* [skripsi]. Jakarta: Fakultas Teknik. Universitas Negeri Jakarta.
6. Rangaan, C.S. (1990). *Instrumentation: Devices and Systems*. McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
7. Sinclair, Ian R. (2001). *Sensors and Transducers. Third Edition*. Published by Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-4932-1