

BUKU AJAR
SENSOR DAN TRANSDUSER



oleh :

Iwan Setiawan, S.T., M.T.

**Program Studi Sistem Komputer
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
2009**

KATA PENGANTAR

Dewasa ini sensor dan transduser merupakan komponen penting yang umum dijumpai dalam berbagai peralatan *embedded* modern yang nampaknya semakin mengepung kehidupan manusia. Disadari atau tidak kita sebenarnya hampir setiap hari pasti berhubungan dengan komponen ini.

Telah banyak perkembangan yang telah dicapai pada bidang ini, baik dari segi teknologi maupun dari segi fungsi. Tren perkembangan teknologi sensor dan transduser saat ini adalah miniaturisasi sensor kedalam bentuk IC (dikenal dengan istilah *Micro electromechanical Sensor*) serta digitalisasi pengolahan output sensor.

Dengan melihat perkembangan yang begitu luar biasa pada bidang sensor dan transduser tersebut, maka penyusunan buku ajar Sensor dan Transduser ini pun berusaha mengikuti tren tersebut (walaupun masih jauh dari sempurna).

Agar mahasiswa tidak terjebak pada batasan Sensor dan Transduser yang memang perbedaannya sangat tipis sekali (sehingga seringkali justru batasan ini menjadi sumber kebingungan), maka dalam buku Ajar ini, penyusun sengaja tidak secara eksplisit mendefinisikan apa itu sensor apa itu transduser. Dalam buku ini, kedua istilah tersebut pada dasarnya dapat saling ditukarkan.

Terakhir, dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih banyak kepada Bapak/Ibu Pimpinan Fakultas Teknik dan Bapak Pimpinan Jurusan Sistem Komputer Fak. Teknik Undip yang telah memberi kepercayaan kepada penulis untuk menyusun Buku ajar ini.

Saran dan kritik dari pembaca untuk kesempurnaan Buku Ajar ini pada masa datang sangat penulis harapkan.

Penyusun

Iwan setiawan

Daftar Isi

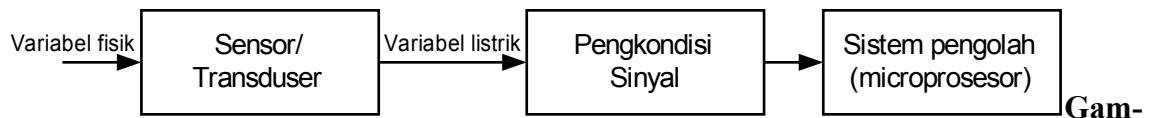
| | |
|--|----|
| Kata Pengantar | i |
| Daftar Isi | ii |
| Bab I Pendahuluan | 1 |
| 1.1 Sensor <i>proximity</i> | 3 |
| 1.2 Sensor Magnet | 3 |
| 1.3. Sensor Sinar | 3 |
| 1.4. Sensor Ultrasonik | 4 |
| 1.5. Sensor Tekanan | 4 |
| 1.6. Sensor Kecepatan (RPM) | 5 |
| 1.7. Sensor Penyandi (Encoder) | 5 |
| 1.8. Sensor Suhu | 6 |
| 1.9. Sensor Efek Hall | 9 |
| 1.10. Reflective-Opto Switch | 13 |
| 1.11. Proximity Switch Induktif | 13 |
| 1.12. Transduser Pergeseran | 14 |
| 1.13. Potensiometer | 17 |
| 1.14. Alat ukur fluksi dan alat ukur Gauss | 17 |
| 1.15. Galvanometer balistik | 18 |
| 1.16. Soal-Soal Latihan | 20 |
| | |
| Bab II Karakteristik Sensor | 21 |
| 2.1. Linieritas Sensor | 21 |
| 2.2. Ketergantungan terhadap suhu operasi | 23 |
| 2.3. Histerisis | 24 |
| 2.4. Kestabilan Output. | 25 |
| 2.5. Kecepatan Respon Transien | 25 |
| 2.6. Soal Latihan | 26 |

| | |
|--|----|
| Bab III Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor | 29 |
| 3.1. OP AMP (Operasional Amplifier) | 29 |
| 3.2. Karakteristik Ideal Penguat Operasional | 30 |
| 3.3. Penguat pembalik (<i>inverting amplifier</i>) | 31 |
| 3.4. Penguat tak-membalik (<i>non-inverting amplifier</i>) | 33 |
| 3.5. Ragam Kerja Penguat Operasional | 34 |
| 3.6. Penguat Penjumlah | 35 |
| 3.7. Penguat Differensial | 37 |
| 3.8. Filter | 37 |
| 3.9. Soal latihan | 38 |
| | |
| Bab IV. Ragam Sensor Dalam Bidang Mekatronika dan Robotika | 40 |
| 4.1. Sensor Ultrasound | 40 |
| 4.2. Sensor Accelerometer | 43 |
| 4.3. Sensor Inframerah | 46 |
| 4.4. Gyroscope | 49 |
| 4.5. Soal Latihan | 51 |
| | |
| Bab V. Sensor Dalam Perangkat Modern- Touch Screen | 52 |
| 5.1. Touch Screen | 52 |
| 5.1.1 Prinsip Kerja Touch Screen | 52 |
| 5.1.2. Jenis-Jenis Touch Screen | 54 |
| 5.1.3. Perkembangan Touch Screen | 59 |
| | |
| Referensi | 60 |

Bab I

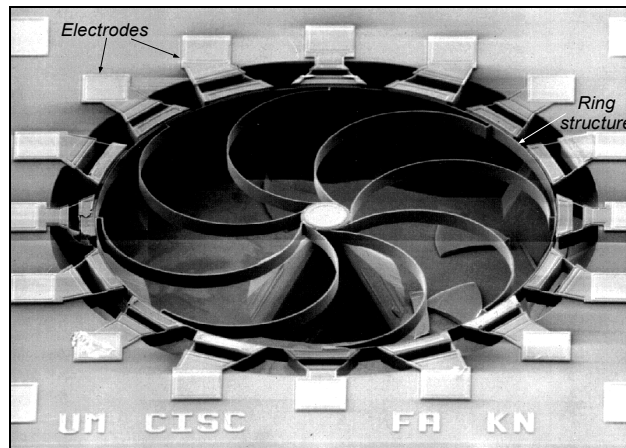
Pendahuluan

Dalam kaitannya dengan sistem elektronis, Sensor dan transduser pada dasarnya dapat dipandang sebagai sebuah perangkat atau device yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital (lihat Gambar 1.1). Dewasa ini, hampir seluruh peralatan modern memiliki sensor di dalamnya.



Gambar 1.1. Blok fungsional Sensor/Transduser

Terkait dengan perkembangan teknologi yang begitu luar biasa, pada saat ini, banyak sensor telah dipabrikasi dengan ukuran sangat kecil hingga orde nanometer sehingga menjadikan sensor sangat mudah digunakan dan dihemat energinya. Gambar 1.2 berikut memperlihatkan salah satu contoh sensor MEMS Gyroscope dalam ukuran satuan mm.



Gambar 1.2. MEMS Gyroscope

Berdasarkan variabel yang diindranya, sensor dikategorikan kedalam dua jenis : sensor Fisika dan sensor Kimia. Sensor Fisika merupakan jenis sensor yang mendeteksi suatu besaran berdasarkan hukum-hukum fisika, yaitu seperti sensor cahaya, suara, gaya, kecepatan, percepatan, maupun sensor suhu. Sedangkan jenis sensor kimia merupakan sensor yang mendeteksi jumlah suatu zat kimia dengan jalan mengubah besaran kimia men-

jadi besaran listrik dimana di dalamnya dilibatkan beberapa reaksi kimia, seperti misalnya pada sensor pH, sensor oksigen, sensor ledakan, serta sensor gas. Gambar 1.3 dan 1.4 dibawah berturut-turut memperlihatkan salah satu contoh sensor besaran fisika dan sensor besaran kimia



Gambar 1.3. Rangkaian komponen Sensor Thermocouple (Fisika)



Gambar 1.4. Sensor Kadar CO_2 (Kimia)

Sensor digunakan dalam kehidupan sehari-hari, dimana aplikasinya mencakup berbagai bidang, yaitu seperti: automobile, mesin, kedokteran, industri, robot, maupun aerospace.

Dalam lingkungan sistem kontrol dan robotika, sensor memberi fungsi seperti layaknya mata, pendengaran, hidung, maupun lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroller sebagai otaknya.

Berikut adalah beberapa jenis sensor yang dapat dijumpai di lapangan

1.1. **Sensor *proximity***

Sensor *proximity* merupakan sensor atau saklar yang dapat mendeteksi adanya target jenis logam dengan tanpa adanya kontak fisik. Biasanya sensor ini terdiri dari alat elektronis solid-state yang terbungkus rapat untuk melindungi dari pengaruh getaran, cairan, kimiawi, dan korosif yang berlebihan. Sensor *proximity* dapat diaplikasikan pada kondisi penginderaan pada objek yang dianggap terlalu kecil atau lunak untuk menggerakkan suatu mekanis saklar.

1.2 **Sensor Magnet**

Sensor Magnet atau disebut juga relai buluh, adalah alat yang akan terpengaruh medan magnet dan akan memberikan perubahan kondisi pada keluaran. Seperti layaknya saklar dua kondisi (on/off) yang digerakkan oleh *adanya* medan magnet di sekitarnya. Biasanya sensor ini dikemas dalam bentuk kemasan yang hampa dan bebas dari debu, kelembapan, asap ataupun uap.

1.3. **Sensor Sinar**

Sensor sinar terdiri dari 3 kategori. *Fotovoltaic* atau sel solar adalah alat sensor sinar yang mengubah energi sinar langsung menjadi energi listrik, dengan adanya penyinaran cahaya akan menyebabkan pergerakan elektron dan menghasilkan tegangan. Demikian pula dengan Fotokonduktif (fotoresistif) yang akan memberikan perubahan tahanan (resistansi) pada sel-selnya, semakin tinggi intensitas cahaya yang terima, maka akan semakin kecil pula nilai tahanannya. Sedangkan Fotolistrik adalah sensor yang berprinsip kerja berdasarkan pantulan karena perubahan posisi/jarak suatu sumber sinar (inframerah atau laser) ataupun target pemantulnya, yang terdiri dari pasangan sumber cahaya dan penerima.

1.4. **Sensor Ultrasonik**

Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara, dimana 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.

1.5. Sensor Tekanan

Sensor tekanan - sensor ini memiliki transduser yang mengukur ketegangan kawat, dimana mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Dasar pengindraannya pada perubahan tahanan pengantar (transduser) yang berubah akibat perubahan panjang dan luas penampangnya.

Strain gage adalah sebuah contoh transduser pasif yang mengubah pergeseran mekanis menjadi perubahan tahanan. Sensitivitas sebuah strain gage dijelaskan dengan suatu karakteristik yang disebut factor gage (factor gage), K, yang didefinisikan sebagai perubahan satuan tahanan dibagi dengan perubahan satuan panjang.

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \dots\dots\dots (1)$$

- dimana
- K = factor gage
 - R = tahanan nominal gage
 - ΔR = perubahan tahanan gage
 - l = panjang nominal (kondisi tidak teregang)
 - Δl = perubahan panjang

suku $\Delta l / l$ dalam persamaan (1) adalah regangan σ , sehingga menjadi:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\sigma} \dots\dots\dots (2)$$

dimana σ = regangan dalam arah lateral.

Perubahan tahanan R pada sebuah konduktor yang penjangnya l dapat dihitung dengan menggunakan persamaan bagi tahanan dari sebuah konduktor yang penampangnya serba sama, yaitu:

$$R = \rho \frac{\text{panjang}}{\text{luas}} = \frac{\rho l}{(\pi/4)d^2} \dots\dots\dots (3)$$

dimana;

- ρ = tahanan spesifik dari bahan konduktor
- l = panjang konduktor
- d = diameter konduktor

tarikan (tension) terhadap konduktor menyebabkan pertambahan panjang l dan pengurangan secara bersamaan pada diameter d.

1.6. Sensor Kecepatan (RPM)

Proses penginderaan sensor kecepatan merupakan proses kebalikan dari suatu motor, dimana suatu poros/object yang berputar pada suatu generator akan menghasilkan suatu tegangan yang sebanding dengan kecepatan putaran object. Kecepatan putar sering pula diukur dengan menggunakan sensor yang mengindera pulsa magnetis (induksi) yang timbul saat medan magnetis terjadi.

1.7. Sensor Penyandi (Encoder)

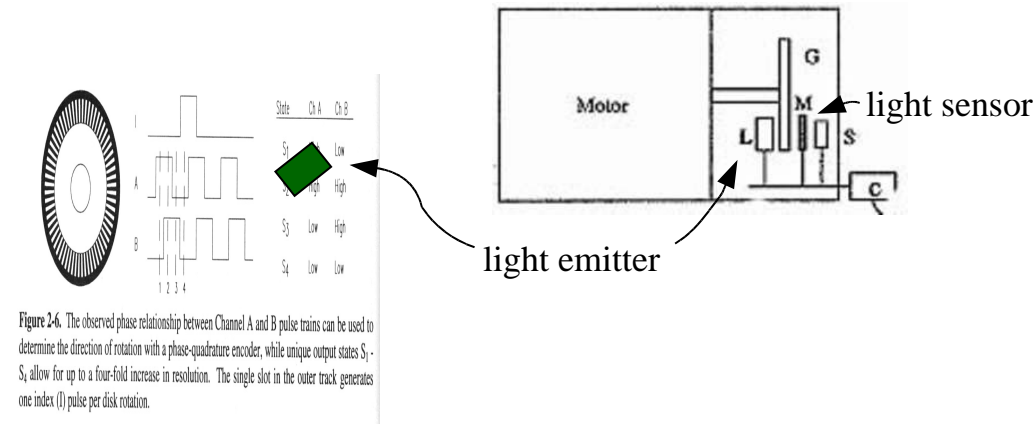
Sensor Penyandi (Encoder) digunakan untuk mengubah gerakan *linear* atau putaran menjadi sinyal digital, dimana sensor putaran memonitor gerakan putar dari suatu alat. Sensor ini biasanya terdiri dari 2 lapis jenis penyandi, yaitu; Pertama, Penyandi rotari tambahan (yang mentransmisikan jumlah tertentu dari pulsa untuk masing-masing putaran) yang akan membangkitkan gelombang kotak pada objek yang diputar. Kedua, Penyandi absolut (yang memperlengkapi kode *binary* tertentu untuk masing-masing posisi sudut) mempunyai cara kerja sang sama dengan perkecualian, lebih banyak atau lebih rapat pulsa gelombang kotak yang dihasilkan sehingga membentuk suatu

pengkodean

dalam

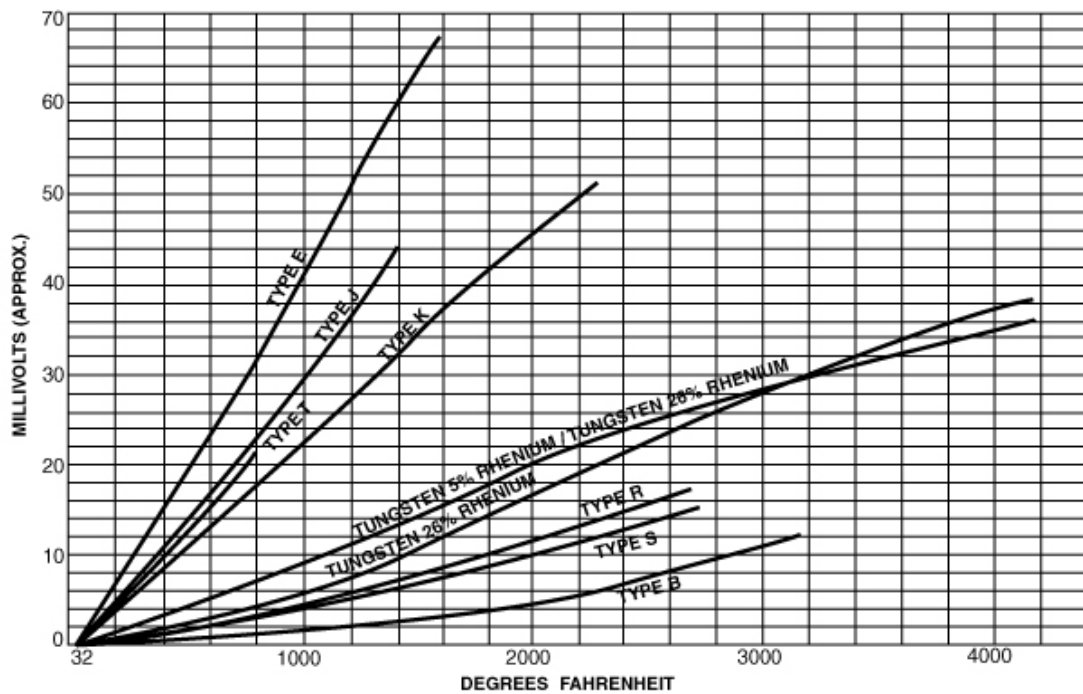
susunan

tertentu.



1.8. Sensor Suhu

Terdapat 4 jenis utama sensor suhu yang umum digunakan, yaitu thermocouple (T/C)-lihat gambar 1.6, resistance temperature detector (RTD), termistor dan IC sensor. Thermocouple pada intinya terdiri dari sepasang transduser panas dan dingin yang disambungkan dan dilebur bersama, dimana terdapat perbedaan yang timbul antara sambungan tersebut dengan sambungan referensi yang berfungsi sebagai pembanding. Resistance Temperature Detector (RTD) memiliki prinsip dasar pada tahanan listrik dari logam yang bervariasi sebanding dengan suhu. Kesebandingan variasi ini adalah presisi dengan tingkat konsisten/kestabilan yang tinggi pada pendeteksian tahanan. Platina adalah bahan yang sering digunakan karena memiliki tahanan suhu, *kelinearan*, stabilitas dan reproduksibilitas. Termistor adalah resistor yang peka terhadap panas yang biasanya mempunyai koefisien suhu negatif, karena saat suhu meningkat maka tahanan menurun atau sebaliknya. Jenis ini sangat peka dengan perubahan tahanan 5% per C sehingga mampu mendeteksi perubahan suhu yang kecil. Sedangkan IC Sensor adalah sensor suhu dengan rangkaian terpadu yang menggunakan chipsilikon untuk kelemahan penginderanya. Mempunyai konfigurasi output tegangan dan arus yang sangat *linear*.



| ISA | Material (+ & -) | Temperature Range °C (°F) | Sensitivity ^① 25°C (77°F) µV/°C (µV/°F) |
|-----|--|------------------------------------|---|
| E | Chromel & Constantan (Ni-Cr & Cu-Ni) | -270~1000 (-450~1800) | 60.9 (38.3) |
| J | Iron & Constantan (Fe & Cu-Ni) | -210~1200 (-350~2200) | 51.7 (28.7) |
| K | Chromel & Alumel (Ni-Cr & Ni-Al) | -270~1350 (-450~2500) | 40.6 (22.6) |
| T | Copper & Constantan (Cu & Cu-Ni) | -270~400 (-450~750) | 40.6 (22.6) |
| R | Platinum & 87% Platinum/ 13% Rhodium (Pt & Pt-Rh) | -50~1750 (-60~3200) | 6 (3.3) |
| S | Platinum & 90% Platinum/ 10% Rhodium (Pt & Pt-Rh) | -50~1750 (-60~3200) | 6 (3.3) |

Gambar 1.6. Karakteristik Beberapa Jenis Thermocouple

J-TC Thermocouple

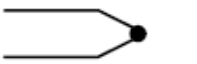

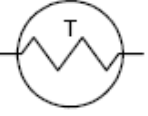
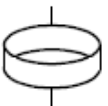
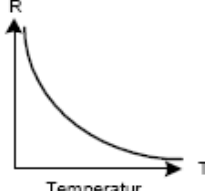
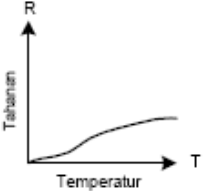
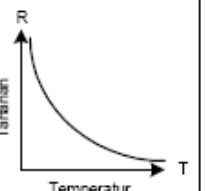
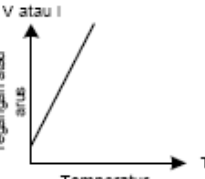
JTC merupakan sensor yang mengubah besaran suhu menjadi tegangan, dimana sensor ini dibuat dari sambungan dua bahan metallic yang berlainan jenis. Sambungan ini dikomposisikan dengan campuran kimia tertentu, sehingga dihasilkan beda potensial antar sambungan yang akan berubah terhadap suhu yang dideteksi.

NTC (Negative Temperature Coefficient)

Lain halnya dengan JTC, NTC merupakan sensor yang mengubah besaran suhu menjadi hambatan. NTC dibuat dari campuran bahan semikonduktor yang dapat menghasilkan hambatan intrinsik yang akan berubah terhadap temperatur.

Platinum Pt 100

Platinum Pt 100 pada plant kontrol suhu memiliki fungsi yang hampir sama dengan sensor NTC, dimana letak perbedaannya adalah pada bahan pembuatan sensor. Platinum Pt 100 dibuat dari platinum dengan resistansi nominal 100Ω pada suhu 0°C .

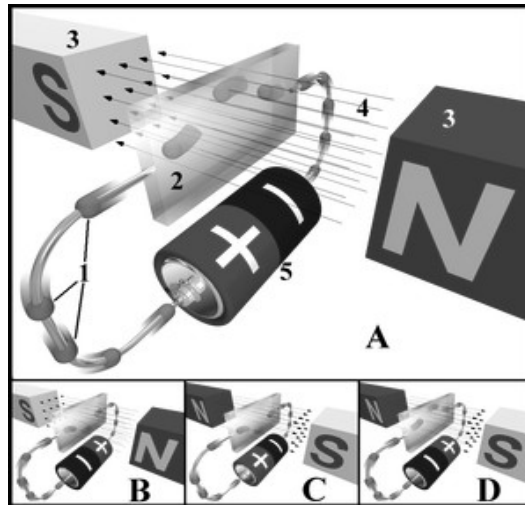
| | Thermocouple | RTD | Thermistor | IC Sensor |
|---------------|---|--|--|--|
| Simbol |  |  |  |  |
| Karakteristik |  |  |  |  |
| Kekuatan | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Self powered ✓ Sederhana ✓ Murah ✓ Banyak macamnya ✓ Range suhu luas | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Paling stabil ✓ Paling akurat ✓ Lebih linear daripada thermocouple | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Output tinggi ✓ Cepat ✓ Mengukur Ohms dua kawat | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Paling linear ✓ Output paling tinggi ✓ Murah |
| Kelemahan | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tidak linear ✓ Tegangan rendah ✓ Memerlukan referensi ✓ Kurang stabil ✓ Kurang sensitif | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mahal ✓ Memerlukan suply daya ✓ $\propto R$ kecil ✓ Tahanan absolut rendah ✓ Self heating | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tidak linear ✓ Range suhu terbatas ✓ Rentan ✓ Memerlukan suply daya ✓ Self heating | <ul style="list-style-type: none"> ✓ $T < 200 \rightarrow C$ ✓ Memerlukan suply daya ✓ Lambat ✓ Self heating ✓ Konfigurasi terbatas |

1.9. Sensor Efek Hall

Sensor Efek-Hall dirancang untuk merasakan adanya objek magnetis dengan perubahan posisinya. Perubahan medan magnet yang terus menerus menyebabkan timbulnya pulsa yang kemudian dapat ditentukan frekuensinya, sensor jenis ini biasa digunakan sebagai pengukur kecepatan.

Sensor *Hall Effect* digunakan untuk mendeteksi kedekatan (*proximity*), kehadiran atau ketidakhadiran suatu objek magnetis (yang) menggunakan suatu jarak kritis. Pada dasarnya ada dua tipe Half-Effect Sensor, yaitu tipe linear dan tipe on-off. Tipe linear

digunakan untuk mengukur medan magnet secara linear, mengukur arus DC dan AC pada konduktordan fungsi-fungsi lainnya. Sedangkan tipe on-off digunakan sebagai limit switch, sensor keberadaan (*presence sensors*), dsb. Sensor ini memberikan logika output sebagai *interface* gerbang logika secara langsung atau mengendalikan beban dengan *buffer amplifier*.



Gambar 1.7. Diagram Hall Effect

Keterangan gambar :

1. Elektron
2. Sensor Hall atau Elemen Hall
3. Magnet
4. Medan Magnet
5. *Power Source*

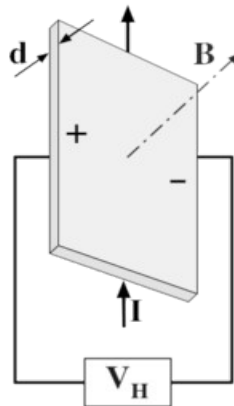
Gambar diagram *hall effect* tersebut tersebut menunjukkan aliran elektron. Dalam gambar A menunjukkan bahwa elemen Hall mengambil kutub negatif pada sisi atas dan kutub positif pada sisi bawah. Dalam gambar B dan C, baik arus listrik ataupun medan magnet dibalik, menyebabkan polarisasi juga terbalik. Arus dan medan magnet yang dibalik ini menyebabkan sensor Hall mempunyai kutub negatif pada sisi atas.

Hall Effect tergantung pada beda potensial (tegangan Hall) pada sisi yang berlawanan dari sebuah lembar tipis material konduktor atau semikonduktor dimana arus listrik mengalir, dihasilkan oleh medan magnet yang tegak lurus dengan elemeh Hall. Perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh jumlah arus dikenal dengan tahanan Hall,

dan tergantung pada karakteristik bahan. Dr. Edwin Hall menemukan efek ini pada tahun 1879.

Hall Effect dihasilkan oleh arus pada konduktor. Arus terdiri atas banyak beban kecil yang membawa partikel-partikel (biasanya elektron) dan membawa gaya Lorentz pada medan magnet. Beberapa beban ini berakhir di sisi – sisi konduktor. Ini hanya berlaku pada konduktor besar dimana jarak antara dua sisi cukup besar.

Salah satu yang paling penting dari *Hall Effect* adalah perbedaan antara beban positif bergerak dalam satu arah dan beban negatif bergerak pada kebalikannya. *Hall Effect* memberikan bukti nyata bahwa arus listrik pada logam dibawa oleh elektron yang bergerak, bukan oleh proton. Yang cukup menarik, *Hall Effect* juga menunjukkan bahwa dalam beberapa substansi (terutama semikonduktor), lebih cocok bila kita berpikir arus sebagai “holes” positif yang bergerak daripada elektron.



Gambar 1.8 Pengukuran Tegangan Hall

Dengan mengukur tegangan Hall yang melalui bahan, kita dapat menentukan kekuatan medan magnet yang ada. Hal ini bisa dirumuskan :

$$V_H = \frac{IB}{ned} \quad 4$$

Dimana V_H adalah tegangan yang melalui lebar pelat, I adalah arus yang melalui panjang pelat, B adalah medan magnet, d adalah tebal pelat, e adalah elektron, dan n adalah kerapatan elektron pembawa. Dalam keberadaan kekuatan medan magnetik yang besar dan temperatur rendah, kita dapat meneliti *quantum Hall effect*, yang dimana adalah kuantisasi tahanan Hall.

Dalam bahan ferromagnetik (dan material paramagnetik dalam medan magnetik), resistivitas Hall termasuk kontribusi tambahan, dikenal sebagai *Anomalous Hall Effect (Extraordinary Hall Effect)*, yang bergantung secara langsung pada magnetisasi bahan, dan sering lebih besar dari *Hall Effect* biasa. Walaupun sebagai sebuah fenomena yang dikenal baik, masih ada perdebatan tentang keberadaannya dalam material yang bervariasi. *Anomalous Hall Effect* bisa berupa efek ekstrinsik bergantung pada putaran yang menyebar dari beban pembawa, atau efek intrinsik yang dapat dijelaskan dengan efek *Berry phase* dalam momentum *space* kristal.

Hall effect menghasilkan level sinyal yang sangat rendah dan membutuhkan amplifikasi. Amplifier tabung vakum pada abad 20 terlalu mahal, menghabiskan tenaga dan kurang andal dalam aplikasi sehari-hari. Dengan pengembangan IC berharga murah maka *Hall Effect Sensor* menjadi berguna untuk banyak aplikasi. Alat *Hall Effect* saat disusun dengan tepat akan tahan dengan debu, kotoran, lumpur dan air. Sifat ini menyebabkan alat *Hall Effect* lebih baik untuk sensor posisi daripada alat alternatif lainnya seperti sensor optik dan elektromekanik.

Hall effect sensor sering dipakai untuk *Split ring clamp-on sensor*, *Analog multiplication*, *Power sensing*, *Position and motion sensing*, *Automotive ignition* dan *fuel injection* serta *Wheel rotation sensing*. Sensor ini banyak tersedia di berbagai macam pabrik, dan digunakan untuk sensor-sensor yang bervariasi seperti sensor aliran cairan, sensor power dan sensor tekanan.

Sensor *Efek Hall* digunakan untuk mendeteksi kedekatan (*proximity*), kehadiran atau ketidakhadirannya suatu objek magnetis (yang) menggunakan suatu jarak kritis. Pada dasarnya ada dua tipe *Hall-Effect Sensor*, yaitu tipe linear dan tipe on-off. Tipe linear digunakan untuk mengukur medan magnet secara linear, mengukur arus DC dan AC pada konduktor dan fungsi-fungsi lainnya. Sedangkan tipe on-off digunakan sebagai *limit switch*, sensor keberadaan (*presence sensors*), dsb. Sensor ini memberikan logika output sebagai *interface* gerbang logika secara langsung atau mengendalikan beban dengan *buffer amplifier*.

1.10. Reflective-Opto Switch

Alat ini terdiri dari pasangan emitter/detektor pada tempat yang sama. Emitter meradiasikan cahaya UV dan jika tidak ada halangan yang akan memantulkan cahaya tersebut, maka tidak akan ada cahaya yang diterima oleh detektor.

Jika objek pemantul (dengan warna/permukaan yang sesuai) dibuat menghadap alat ini, detektor (*photoresistor*) mensaturasi output, sehingga terbentuk sinyal logika.

Emitter dan detektor disesuaikan, di mana detektor mempunyai puncak sensitivitas yang bersesuaian dengan panjang gelombang emitter.

Seberapa baik pendeteksian suatu objek tergantung pada :

- Jumlah cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya.
- Kepekaan *photodetector*.
- Jarak antara switch dari objek.
- Kondisi cahaya dari lingkungan sekitar.
- Kedudukan tegak lurus permukaan dari pantulan cahaya dengan switch.

1.11. Proximity Switch Induktif

Alat ini diklasifikasikan sebagai berikut :

- Bersumber daya AC atau DC.
- 2 terminal, di mana beban dihubungkan antara terminal satu dengan sumber AC atau DC, sementara terminal lain merupakan GND.
- terminal, dua terminal di antaranya adalah sumber tegangan dan GND, sedangkan terminal lainnya adalah output beban yang dihubungkan dengan sumber tegangan (tipe NPN) atau ke GND (tipe PNP).

Alat ini terdiri dari suatu osilator, *demodulator*, *trigger*, dan *switching amplifier*.

Alat ini beroperasi dengan prinsip transistor osilator yang operasinya *dumped* ketika objek metal mendekati elemen yang beresonansi. Efisiensi *dumping effect* ini tergantung dari tipe metal dan jarak.

Jika objek metal memasuki medan magnet kumparan osilator, arus pusar akan diinduksi pada kumparan yang mengubah amplitudo osilasi. Demodulator akan mengkonversi perubahan amplitudo menjadi sinyal DC yang akan mengaktifkan trigger.

Keuntungan Penggunaan *Proximity Switch* induktif :

- Tidak perlu ada kontak fisik secara langsung antara pemakai dengan sistem.
- Dapat bekerja di lingkungan dengan kondisi apapun.
- Responnya berjalan dengan cepat.
- Awet dan tahan lama.

1.12. Transduser Pergeseran

Pengubahan sebuah gaya terpasang menjadi pergeseran merupakan dasar bagi berbagai jenis transducer. Elemen mekanis yang digunakan untuk mengubah gaya terpasang menjadi pergeseran disebut alat-alat penjumlah gaya (*force summing devices*) yang bagian-bagiannya berupa :

- a. Diafragma, rata atau bergelombang
- b. Tiupan (*bellows*)
- c. Tabung Bourdon, melingkar atau berbelit
- d. Tabung/ pipa lurus
- e. Kantilever massa (*mass cantilever*), suspensi tunggal atau dobel
- f. Torsi ujung berputer (*pivot torque*)

1.12.1. Transduser Kapasitive

Karena kapasitansi berbanding terbalik dengan jarak kedua pelat paralel, setiap variasi dalam d menyebabkan variasi pada kapasitansi. Prinsip ini diterapkan pada transducer kapasitif.

Kapasitansi dari sebuah kapasitor pelat paralel diberikan oleh $C =$ (farad)

$$G = \frac{kA\epsilon_0}{d} \quad (\text{farad})$$

dimana : A = luas masing-masing pelat, dalam m^2

d = jarak kedua pelat, dalam m

$\epsilon_0 = 9,85 \times 10^{-12}$ dalam F/m

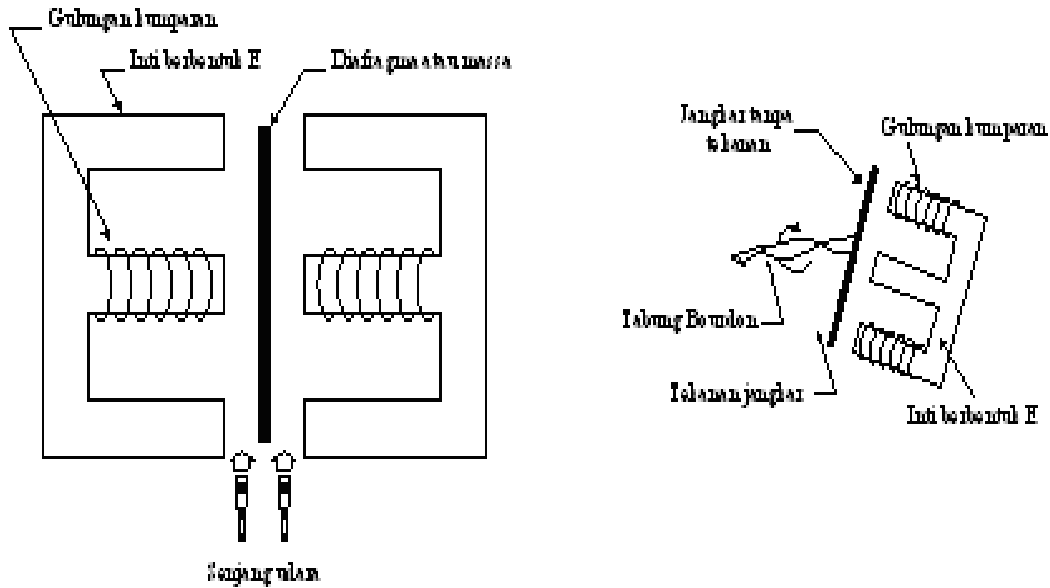
k = konstanta dielektrik

Cara kerjanya :

- Gaya diberikan pada diafragma yang berfungsi sebagai salah satu pelat kapasitor, mengubah jarak antara diafragma dengan pelat yang diam.
- Perubahan kapasitansi yang dihasilkan ini dapat diukur dengan jembatan ac atau sebuah rangkaian osilator.
- Transducer sebagai bagian dari rangkaian osilator menyebabkan perubahan frekuensi osilator. Perubahan frekuensi ini merupakan ukuran dari besarnya gaya yang dipasang.

1.12.2. Transducer induktif

Dalam transducer induktif pengukuran gaya dilakukan dengan mengubah perbandingan induktansi dari sepasang kumparan atau dengan mengubah induktansi kumparan tunggal. Dalam masing-masing hal, jangkar feromagnetik yang digerakkan/ digeser oleh gaya yang akan diukur mengubah reluktansi rangkaian magnetik. Perubahan induktansi yang dihasilkan merupakan ukuran bagi besarnya gaya yang diberikan. Gambar 6 memperlihatkan variasi senjang udara dengan mengubah posisi jangkar. Perubahan induktansi yang dihasilkan merupakan ukuran bagi besarnya gaya yang diberikan.

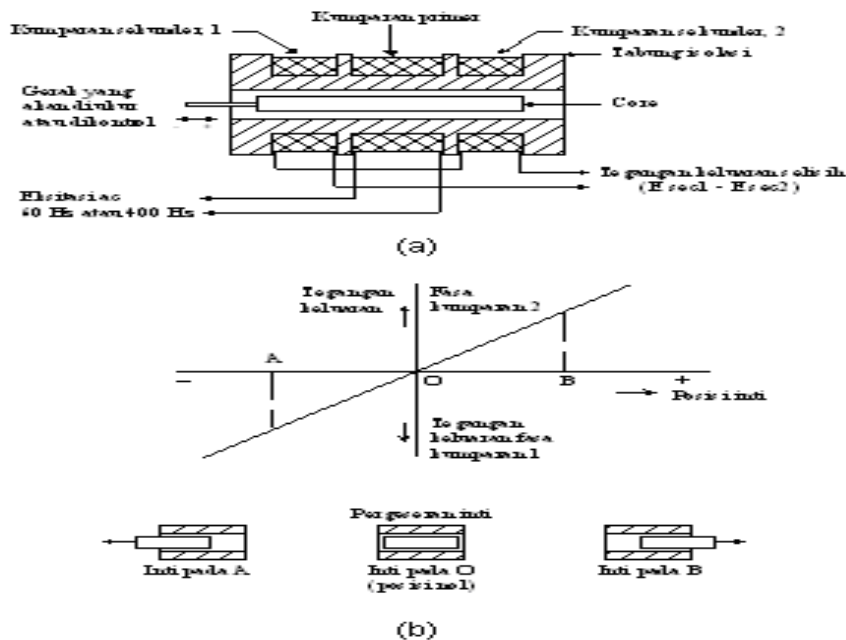


(a) Kumparan double (b) Kumparan tunggal

Gambar 1.9. Transducer induktif

1.12.3. Transformator selisih yang berubah-ubah (LVDT)

Konstruksi dasar dari sebuah transformator selisih yang berubah secara linier (LVDT - Linear Variable Differential Transformer) ditunjukkan pada Gambar 1.10.

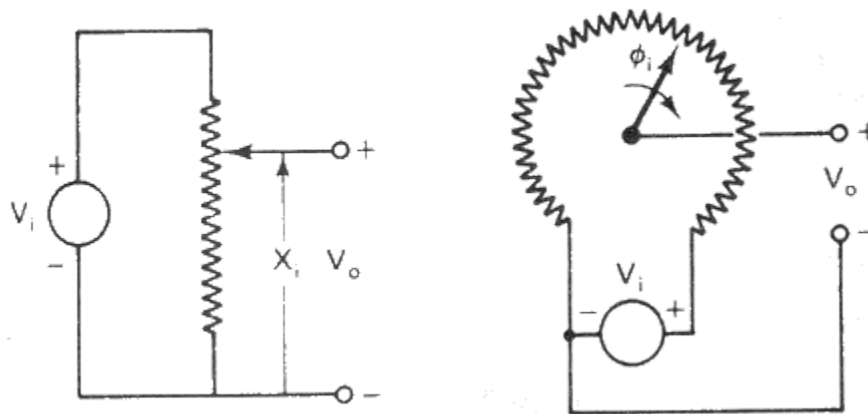


Gambar 1.10. LVDT

Transformator ini terdiri dari satu kumparan primer dan dua kumparan sekunder yang ditempatkan pada kedua sisi kumparan primer. Kumparan sekunder mempunyai jumlah gulungan yang sama tetapi mereka dihubungkan seri secara berlawanan sehingga gaya gerak listrik (ggl) yang diindusir didalam kumparan sekunder tersebut saling berlawanan. Posisi dari inti yang dapat bergerak menentukan hubungan fluksi antara kumparan primer yang tereksitasi oleh ac dan masing-masing dari kedua kumparan sekunder.

1.13. Potensiometer

Transduser potensiometrik adalah sebuah alat elektromekanik yang mengandung elemen tahanan yang dihubungkan oleh sebuah kontak geser yang dapat bergerak. Gerakan kontak geser menghasilkan suatu perubahan tahanan yang biasa linier, logaritmis, eksponensial, dan sebagainya, bergantung pada cara dalam mana kawat tahanan tersebut digulungkan.



Gambar 1.11. Potensiometer

1.14. Alat ukur fluksi dan alat ukur Gauss

Alat ukur fluksi (fluxmeter) menggunakan mekanisme kumparan putar khusus yang tidak mempunyai magnet dan potongan kutub. Alat ini ditempatkan di dalam medan magnet yang tidak diketahui dan arus lewat melalui alat ukur. Defleksi alat ukur fluksi bergantung pada besarnya arus dan kekuatan medan magnet yang tidak diketahui. Besarnya arus dapat dikontrol dengan sebuah tahanan geser dan dibaca pada sebuah alat ukur untuk defleksi standar pada alat ukur fluksi berbanding dengan kuat medan magnet, dan pembacaan arus merupakan indikasi langsung dari kuat medan magnet.

Alat ukur gauss (gaussmeter) bekerja dengan prinsip berbeda. Torsi yang dikeluarkan oleh induksi magnet terhadap sebuah magnet kecil disetimbangkan oleh torsi pemulih dari sebuah pegas spiral. Magnet kecil ini dibawa ke dalam pengaruh medan magnet yang tidak diketahui dan diputar untuk penunjukan maksimal sebuah jarum penunjuk yang tersambung ke pegas spiral pemulih. Skala instrumen dikalibrasi agar langsung membaca kuat medan magnet dalam gauss ataupun weber.

1.15. Galvanometer balistik

Defleksi sebuah galvanometer balistik berbanding langsung dengan muatan listrik yang mengalir melalui kumparannya. Karena muatan dan fluksi dihubungkan oleh sebuah konstanta kesebandingan, defleksi galvanometer merupakan ukuran fluksi, sehingga untuk memeriksa sifat-sifat bahan magnetic, biasanya satu pengukuran fluksi tunggal tidak cukup. Susunan pengukuran pada gambar 22 memperbolehkan penentuan lup histerisis dari sebuah sample cincin bahan magnetic dengan mengukur fluksi dengan sebuah galvanometer balistik pada nilai gaya magnetisasi yang berlawanan.

Lup histerisis diukur dengan cara berikut :

Sakelar mula-mula ditutup dan arus di dalam kumparan primer disetel oleh R1 ke suatu nilai maksimal H yang diinginkan. Sakelar S1 dibalik beberapa kali sehingga sample berada dalam keadaan berputar dan defleksi galvanometer balistik terbaca. Nilai rata-rata dari pengulangan pengukuran memberikan nilai untuk kerapatan fluksi maksimal B. sekarang sakelar S2 dibuka yang membuat R2 paralel dengan rangkaian arus dan menurunkan gaya magnetisasi dalam jumlah yang kecil. Pengurangan dalam kerapatan fluksi B, diperoleh dari defleksi galvanometer dan nilai H yang baru diperoleh dari pembacaan alat ukur.

Beberapa pengukuran dilakukan dengan memanipulasi pembalikan sakelar S1 sehingga rata-rata B diperoleh. Sekarang S2 ditutup lagi dan sample dikembalikan ke posisi mula-mula dari magnetisasi maksimal. Sekarang tahanan geser R2 diatur sedikit untuk mengurangi arus magnetisasi total, dan suatu susunan pengukuran dilakukan, dimulai dari titik awal dari H paling besar.

$$\Phi = K\theta \quad (\text{Weber})$$

dimana :

ϕ = fluksi magnetic dalam Weber

K = konstanta kesebandingan

θ = defleksi sudut gfalvano meter dalam radian

Soal-Soal Latihan

1. Jelaskan macam sensor dan transduser yang anda ketahui
1. Sebuah strain-gage tahanan dengan faktor gage sebesar 2,5 dipasang pada sebuah balok baja yang modulus elastisitasnya adalah 2×10^6 kg/cm². Strain-gage memiliki tahanan tanpa teregang sebesar 120 yang bertambah menjadi 120,5 , bila balok dipengaruhi oleh tekanan geser. Tentukan tekanan geser (stress) pada titik di mana strain gage terpasang !
2. Gambar dan terangkan prinsip kerja dari LVDT !
3. Gambarkan rangkaian kontrol on-off dengan menggunakan fotosel dan jelaskan cara kerjanya !
4. Sebutkan empat jenis transducer pasif dan jelaskan prinsip kerja dan sifat alat untuk masing-masing jenis !
5. Sebutkan tiga jenis elemen-elemen termometer tahanan, keuntungan dan kekurangannya !
6. Apa beda antara fotoemisif, fotokonduktif, dan sel fototegangan. Sebutkan pemakaian alat untuk masing-masing sel !
7. Sebuah strain-gage tahanan dengan faktor gage sebesar 2,4 dipasang pada sebuah balok baja yang modulus elastisitasnya adalah 2×10^6 kg/cm². Strain gage memiliki tahanan tanpa teregang sebesar 120 yang bertambah menjadi 120,1 bila balok dipengaruhi oleh tekanan geser. Tentukan tekanan geser (stress) pada titik di mana strain gage terpasang !
8. Sebuah strain-gage tahanan dengan faktor gage sebesar 2 diikat ke sebuah benda baja yang dipengaruhi oleh tegangan geser sebesar 1050 kg/cm². Modulus elastisitas baja adalah kira-kira $2,1 \times 10^6$ kg/cm². Hitung perubahan tahanan R dari elemen strain gage yang disebabkan oleh tegangan geser yang dikenakan !