



REPUBLIK INDONESIA  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201974228, 4 Oktober 2019

## Pencipta

Nama : **Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T, Khoirudin Fathoni, S.T., M.T,**  
Alamat : Jl. Lemponsari Raya No. 56, RT 009 RW 027 Sariharjo Ngaglik Sleman, Yogyakarta, Jawa Tengah, 55581  
Kewarganegaraan : Indonesia

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T, Khoirudin Fathoni, S.T., M.T.,**  
Alamat : Jl. Lemponsari Raya No. 56, RT 0009 RW 027 Sariharjo Ngaglik Sleman, Yogyakarta, 9, 55581  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Jenis Ciptaan : **Buku**  
Judul Ciptaan : **SISTEM INSTRUMENTASI DAN SENSOR**  
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 12 Desember 2018, di Semarang  
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.  
Nomor pencatatan : 000157810

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.  
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL



Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.  
NIP. 196611181994031001

**LAMPIRAN PENCIPTA**

No	Nama	Alamat
1	Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T	Jl. Lemponsari Raya No. 56, RT 009 RW 027 Sariharjo Ngaglik Sleman
2	Khoirudin Fathoni, S.T., M.T	Jl Brotojoyo Timur V No. 24A, RT 004 RW 002 Panggung Kidul, Semarang Utara

**LAMPIRAN PEMEGANG**

No	Nama	Alamat
1	Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T	Jl. Lemponsari Raya No. 56, RT 0009 RW 027 Sariharjo Ngaglik Sleman
2	Khoirudin Fathoni, S.T., M.T.	Jl Brotojoyo Timur V No. 24A, RT 004 RW 002 Panggung Kidul, Semarang Utara



# Sistem Instrumentasi dan Sensor

Buku ini berisi tentang teori sistem instrumentasi dan sensor. Pembahasan dimulai dari sistem instrumentasi secara umum beserta karakteristiknya. Pembahasan selanjutnya adalah tentang sensor perpindahan. Sensor pengukuran inersia dibahas dengan menyajikan contoh dari sensor tersebut. Accelerometer dan gyroscope dibahas dengan detail dilanjutkan dengan pembahasan tentang sensor suhu RTD dan thermocouple. Dasar-dasar pengukuran listrik juga disajikan dan dilanjutkan dengan penjelasan tentang pengukuran radioaktivitas. Sensor bio dan kimia dibahas terkait dengan berbagai aplikasi penggunaan. Pengkondisi sinyal dijelaskan untuk melengkapi dasar-dasar proses dari besaran fisis yang diubah menjadi besaran listrik oleh sensor yang kemudian diteruskan untuk ditampilkan atau dikirimkan. Pembahasan ditutup dengan smart sensor dan pengenalan jaringan sensor nirkabel. Buku ini sesuai untuk dipergunakan oleh mahasiswa tingkat sarjana maupun kalangan umum yang ingin belajar tentang sistem informasi dan sensor.



Penerbit-Percetakan-Perdagangan  
**SUKARNO PRESSINDO**  
Phone: 081228494410 / 08976759734  
08883948662  
Website: www.sukarnopressindo.com



Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T.,M.T  
Khoirudin Fathoni, S.T.,M.T

SISTEM INSTRUMENTASI DAN SENSOR

Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T.,M.T  
Khoirudin Fathoni, S.T.,M.T



# SISTEM INSTRUMENTASI DAN SENSOR

Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T.,M.T  
Khoirudin Fathoni, S.T.,M.T

# Sistem Instrumentasi dan Sensor

Disusun oleh:

Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, ST MT

Khoirudin Fathoni, ST MT

Penerbit Sukarno Pressindo

2018

Sistem Instrumentasi dan Sensor

**Penulis:** Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, ST MT dan Khoirudin Fathoni, ST MT

**ISBN: 978-602-5880-32-2**

Setting and Layout : **Anis**

Cover Design: **Sukarno**

Editor: **Fitratun Annisya, SE. dan Sukarno, S.IP., SS**

**Penerbit:** PENERBIT SUKARNO PRESSINDO

Karanggewang Barat RT 05 RW 14 Kel. Tandang,

Kec. Tembalang Kota Semarang 50274

No HP. 081228494410; 08976759734; 08883948662

Email: [sukarnopressindo@gmail.com](mailto:sukarnopressindo@gmail.com); [sukarnopress@gmail.com](mailto:sukarnopress@gmail.com)

Website: [www.karnopress.com](http://www.karnopress.com) & [www.sukarnopressindo.com](http://www.sukarnopressindo.com)

Penerbit Sukarno Pressindo menerima kiriman naskah (puisi, cerpen, novel, buku). Naskah merupakan hasil karya sendiri/bukan plagiat, tidak menyinggung SARA, tidak bertentangan dengan Pancasila&UUD 1945. Penerbit Sukarno Pressindo menerima jasa penyuntingan buku, jasa penulisan, jasa penulisan biografi, jasa terjemahan, jasa editing, jasa setting layout, jasa desain cover, jasa cetak buku/jurnal/majalah/tabloid/karya tulis ilmiah, dll. Biaya terjangkau. Naskah diketik rapi, dikirim ke: [sukarnopressindo@gmail.com](mailto:sukarnopressindo@gmail.com); [sukarnopress@gmail.com](mailto:sukarnopress@gmail.com)

Hak Cipta © Penulis

Hak cipta ada pada penulis. Hak cipta dilindungi oleh UU. Dilarang menggandakan, memperbanyak, atau menyebarkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, dengan cara apa pun dan untuk tujuan apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

## **KATA PENGANTAR**

Syukur kami panjatkan atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Sistem Instrumentasi dan Sensor. Buku ini dapat dijadikan pedoman bagi mahasiswa program sarjana bidang teknik elektro maupun pembaca umum yang ingin memahami dan belajar tentang sensor dan pengukuran. Buku ini dapat diselesaikan atas bantuan banyak pihak, untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam buku ini untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan buku ini.

Akhirnya semoga buku ini bermanfaat

Semarang, Desember 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
RINGKASAN .....	v
I.1 Sistem Instrumentasi .....	1
I.1.1 Instrumentasi .....	1
I.1.2 Karakteristik Instrumen .....	3
I.2 Pengukuran .....	10
I.2.1 Pengertian Pengukuran .....	10
I.2.2 Sistem Satuan Dalam Pengukuran .....	11
I.2.3 Sistem Pengukuran .....	13
I.3 Sensor .....	13
SENSOR PERPINDAHAN .....	17
II.1 Sensor Perpindahan Resistif .....	17
.....	30
III.1 Pendahuluan .....	30
III.1.1 Sensor IMU .....	30
III.1.2 Accelerometer .....	31
III.1.3 Gyroscope .....	38
SENSOR SUHU .....	44
IV.1 Thermistor .....	44
IV.2 Resistive Temperature Detector .....	45
IV.3 Sensor Thermocouple .....	49

IV.4 Piroelektrik .....	54
IV.5 Inframerah .....	56
IV.6 Termometer .....	57
PENGUKURAN LISTRIK .....	65
V.1 Pengukuran Tegangan .....	65
V.2 Pengukuran Arus .....	67
V.3 Mengukur Daya .....	71
V.4 Mengukur Energi .....	72
SENSOR RADIOAKTIF .....	75
VI.1 Sejarah .....	75
VI.2 Unit Radioaktivitas .....	76
VI.3 Pengukuran Radioaktivitas .....	78
VI.4 Unit Pengukuran Radioaktivitas:.....	81
VI.5 Pengukuran Gelombang Mikro .....	81
VI.5.1 Sejarah .....	83
VI.5.2 Microwave .....	84
VI.5.3 Deteksi Gelombang Mikro .....	86
SENSOR BIO DAN KIMIA .....	90
VII.1 Pengertian Sensor Kimia Dan Sensor Bio .....	90
VII.2 Klasifikasi Sensor Kimia Dan Sensor Bio .....	92
VII.2.1 Sensor Fluorometrik Polos (Tipe A) .....	92
VII.2.2 Sensor Kimia Mediator Langsung (Tipe B) .....	93
VII.2.3 Sensor Kimia Termediasi Tidak Langsung (Tipe C) .....	94
VII.2.4 Sensor Bio Enzim Langsung (Tipe D) .....	94
VII.3 PRINSIP SENSOR KIMIA DAN SENSOR BIO .....	96

VII.4 APLIKASI SENSOR KIMIA DAN SENSOR BIO .....	100
PENGOLAHAN DAN PENGKODISI SINYAL .....	102
VIII.1 Operational Amplifier (OP-AMP) .....	102
VIII.2 SIGNAL CONDITIONING .....	109
VIII.2.1 Sirkuit Pasif.....	110
VIII.2.2 Filter (Penyaring) .....	113
VIII.2.3 A/D CONVERTER .....	123
VIII.2.4 Counter Ramp ADC.....	125
VIII.2.5 SAR ( <i>Successive Aproximation Register</i> ) ADC .....	126
SMART SENSOR DAN WIRELESS SENSOR NETWORK....	130
IX.1 Integrated Smart Sensor .....	133
IX.2 Perkembangan Smart Sensor .....	137
IX.2.1 Smart Home (Rumah Pintar) .....	137
IX.2.2 Peralatan Rumah Tangga Pintar .....	138
IX.2.3 Peralatan Rumah Tangga Pintar .....	139
IX.2.4 Smart Toys.....	140
IX.3 Wireless Sensor Network .....	141
IX.3.1 Komponen Utama pada Wireless Sensor Network (WSN) ...	141
IX.3.2 Bagian-Bagian WSN .....	142
IX.3.3 Arsitektur WSN .....	143
IX.3.4 Karakteristik .....	144
IX.3.5 Penerapan dan Penggunaan WSN .....	147

## **RINGKASAN**

Buku ini berisi tentang teori sistem instrumentasi dan sensor. Pembahasan dimulai dari sistem instrumentasi secara umum beserta karakteristiknya. Pembahasan selanjutnya adalah tentang sensor perpindahan. Sensor pengukuran inersia dibahas dengan menyajikan contoh dari sensor tersebut. Accelerometer dan gyroscope dibahas dengan detail dilanjutkan dengan pembahasan tentang sensor suhu RTD dan thermocouple. Dasar-dasar pengukuran listrik juga disajikan dilanjutkan dengan penjelasan tentang pengukuran radioaktivitas. Sensor bio dan kimia dibahas terkait dengan berbagai aplikasi yang menggunakannya. Pengkondisi sinyal dijelaskan untuk melengkapi dasar-dasar proses dari besaran fisis yang diubah menjadi besaran listrik oleh sensor yang kemudian diteruskan untuk ditampilkan atau dikirimkan. Pembahasan ditutup dengan smart sensor dan pengenalan jaringan sensor nirkabel. Buku ini sesuai untuk dipergunakan oleh mahasiswa tingkat sarjana maupun kalangan umum yang ingin belajar tentang sistem informasi dan sensor.

## **KATA PENGANTAR**

Syukur kami panjatkan atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Sistem Instrumentasi dan Sensor. Buku ini dapat dijadikan pedoman bagi mahasiswa program sarjana bidang teknik elektro maupun pembaca umum yang ingin memahami dan belajar tentang sensor dan pengukuran. Buku ini dapat diselesaikan atas bantuan banyak pihak, untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam buku ini untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan buku ini. Akhirnya semoga buku ini bermanfaat

Semarang, Desember 2018

Penulis

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	ii
RINGKASAN .....	v
BAB I SISTEM INSTRUMENTASI.....	1
I.1 Sistem Instrumentasi .....	1
I.1.1 Instrumentasi.....	1
I.1.2 Karakteristik Instrumen.....	3
I.2 Pengukuran.....	10
I.2.1 Pengertian Pengukuran.....	10
I.2.2 Sistem Satuan Dalam Pengukuran .....	11
I.2.3 Sistem Pengukuran.....	13
I.3 Sensor.....	13
BAB II SENSOR PERPINDAHAN .....	17
II.1 Sensor Perpindahan Resistif.....	17
BAB III SENSOR PENGUKURAN INERSIA.....	30
III.1Pendahuluan .....	30
III.1.1 Sensor IMU.....	30
III.1.2 Accelerometer.....	31
III.1.3 Gyroscope .....	38
BAB IV SENSOR SUHU .....	44
IV.1 Themisthor .....	44
IV.2 Resistive Temperature Detector.....	45
IV.3 Sensor Thermocouple .....	49

IV.4 Piroelektrik .....	54
IV.5 Inframerah .....	56
IV.6 Termometer .....	57
<b>BAB V PENGUKURAN LISTRIK.....</b>	<b>65</b>
V.1 Pengukuran Tegangan .....	65
V.2 Pengukuran Arus .....	67
V.3 Mengukur Daya .....	71
V.4 Mengukur Energi.....	72
<b>BAB VI SENSOR RADIOAKTIF.....</b>	<b>75</b>
VI.1 Sejarah .....	75
VI.2 Unit Radioaktivitas.....	76
VI.3 Pengukuran Radioaktivitas.....	78
VI.4 Unit Pengukuran Radioaktivitas:.....	81
VI.5 Pengukuran Gelombang Mikro .....	81
VI.5.1 Sejarah .....	83
VI.5.2 Microwave .....	84
VI.5.3 Deteksi Gelombang Mikro .....	86
<b>BAB VII SENSOR BIO DAN KIMIA .....</b>	<b>90</b>
VII.1 Pengertian Sensor Kimia Dan Sensor Bio .....	90
VII.2 Klasifikasi Sensor Kimia Dan Sensor Bio .....	92
VII.2.1 Sensor Fluorometrik Polos (Tipe A) .....	92
VII.2.2 Sensor Kimia Mediator Langsung (Tipe B).....	93
VII.2.3 Sensor Kimia Termediasi Tidak Langsung (Tipe C) .....	94
VII.2.4 Sensor Bio Enzim Langsung (Tipe D) .....	94
VII.3 PRINSIP SENSOR KIMIA DAN SENSOR BIO .....	96

VII.4 APLIKASI SENSOR KIMIA DAN SENSOR BIO .....	100
BAB VIII PENGOLAHAN DAN PENGKODISI SINYAL .....	102
VIII.1 Operational Amplifier (OP-AMP).....	102
VIII.2 SIGNAL CONDITIONING .....	109
VIII.2.1 Sirkuit Pasif.....	110
VIII.2.2 Filter (Penyaring).....	113
VIII.2.3 A/D CONVERTER .....	123
VIII.2.4 Counter Ramp ADC.....	125
VIII.2.5 SAR ( <i>Successive Aproximation Register</i> ) ADC .....	126
BAB IX SMART SENSOR DAN WIRELESS SENSOR NETWORK....	130
IX.1 Integrated Smart Sensor .....	133
IX.2 Perkembangan Smart Sensor .....	137
IX.2.1 Smart Home (Rumah Pintar).....	137
IX.2.2 Peralatan Rumah Tangga Pintar .....	138
IX.2.3 Peralatan Rumah Tangga Pintar .....	139
IX.2.4 Smart Toys.....	140
IX.3 Wireless Sensor Network.....	141
IX.3.1 Komponen Utama pada Wireless Sensor Network (WSN)...	141
IX.3.2 Bagian-Bagian WSN .....	142
IX.3.3 Arsitektur WSN.....	143
IX.3.4 Karakteristik .....	144
IX.3.5 Penerapan dan Penggunaan WSN .....	147

## **RINGKASAN**

Buku ini berisi tentang teori sistem instrumentasi dan sensor. Pembahasan dimulai dari sistem instrumentasi secara umum beserta karakteristiknya. Pembahasan selanjutnya adalah tentang sensor perpindahan. Sensor pengukuran inersia dibahas dengan menyajikan contoh dari sensor tersebut. Accelerometer dan gyroscope dibahas dengan detail dilanjutkan dengan pembahasan tentang sensor suhu RTD dan thermocouple. Dasar-dasar pengukuran listrik juga disajikan dilanjutkan dengan penjelasan tentang pengukuran radioaktivitas. Sensor bio dan kimia dibahas terkait dengan berbagai aplikasi yang menggunakannya. Pengkondisi sinyal dijelaskan untuk melengkapi dasar-dasar proses dari besaran fisis yang diubah menjadi besaran listrik oleh sensor yang kemudian diteruskan untuk ditampilkan atau dikirimkan. Pembahasan ditutup dengan smart sensor dan pengenalan jaringan sensor nirkabel. Buku ini sesuai untuk dipergunakan oleh mahasiswa tingkat sarjana maupun kalangan umum yang ingin belajar tentang sistem informasi dan sensor.



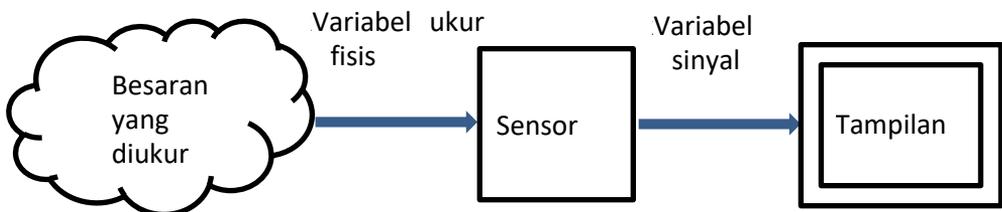
# BAB I

## SISTEM INSTRUMENTASI

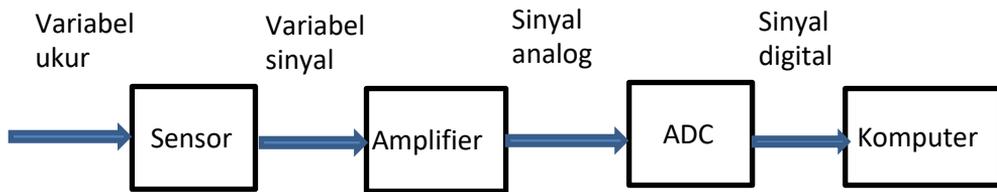
### I.1 Sistem Instrumentasi

#### I.1.1 Instrumentasi

Instrumentasi adalah alat yang terdiri dari berbagai komponen yang digunakan dalam pengukuran, deteksi maupun merekam besaran fisis. Instrumentasi biasa digunakan sebagai bagian dari sistem yang lebih besar dan kompleks untuk mendapatkan besaran yang diinginkan dalam usaha mengendalikan suatu sistem atau untuk mengurangi kerugian atau mengatasi penyebab kerugian. Instrumentasi digunakan dalam sistem kompleks seperti sistem pengendali mobil otomatis. Besaran fisis yang diukur seperti kecepatan akan menjadi umpan balik bagi pengendali otomatis untuk menggerakkan aktuator. Instrumentasi memiliki 3 fungsi utama, instrumentasi sebagai pengukuran, instrumentasi sebagai analisa, dan instrumentasi sebagai kendali. Instrumentasi sendiri tidak lepas dari dunia elektronika untuk membuat suatu alat karena untuk membuat sebuah sistem berjalan digunakan komponen-komponen elektronika seperti sensor dan transduser sebagai komponen utama instrumen dalam melakukan pengukuran. Pengukuran adalah sebuah metode untuk memperoleh informasi mengenai besaran fisik dari sebuah variabel atau membandingkan suatu besaran yang tidak diketahui harganya dengan besaran lain yang telah diketahui harganya.

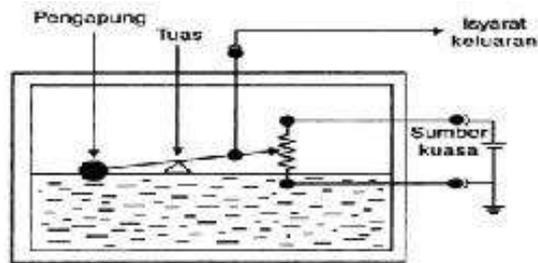


Gambar I.1. Model Instrumentasi Sederhana (Webster, 1999)

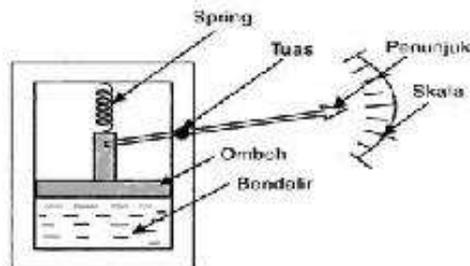


Gambar I.2 Instrumentasi dengan Amplifier, Analog to Digital Converter, dan Komputer Output (Webster, 1999)

Instrumen berdasarkan outputnya terbagi menjadi 2 yaitu instrumen aktif dan instrumen pasif. Instrumen Aktif adalah instrumen yang melibatkan sumber daya atau indikator dari luar untuk memberikan keluaran bagi kuantitas yang diukur. Sedangkan instrumen pasif adalah instrumen yang tidak melibatkan sumber daya atau indikator dari luar sehingga semua keluaran dihasilkan oleh kuantitas yang diukur.



(1)



(2)

Gambar I.3 1) Contoh Instrumen Aktif Penunjuk Arah Tangki Petrol, 2) Contoh Instrumen Pasif Tolok Tekanan Pasif (Radzi, 2007)

## **I.1.2 Karakteristik Instrumen**

Karakteristik kinerja sistem pengukuran dinilai berdasarkan kesesuaian dalam mengukur input yang diinginkan. Karena pemilihan instrumen yang cocok untuk pengukuran yang dilakukan sangatlah penting. Karakteristik sistem pengukuran dapat dibagi menjadi dua karakteristik yaitu karakteristik statis dan karakteristik dinamis.

### **I.1.2.1 Karakteristik Statis**

#### **1. Kalibrasi**

Sebelum melakukan pengukuran alat ukur perlu dicek kalibrasinya agar hasil ukuran tepat dan akurat. Saat melakukan kalibrasi agar memperhatikan jarum penunjuk tepat menunjuk pada angka nol. Kalibrasi sendiri adalah membandingkan output dari instrumen/sensor yang diuji terhadap output dari instrument yang diketahui ketepatannya (ketepatan lebih tinggi) ketika diberikan input yang sama (besaran yang diukur diberikan pada kedua instrumen).

Pada saat kalibrasi dilakukan perbandingan antara instrumen yang digunakan dengan :

1. Standar primer
2. Standar sekunder
3. Input yang diketahui

Aturan yang harus diikuti: standar kalibrasi harus paling sedikit memiliki ketepatan 10 kali dari instrumen yang dikalibrasi. Dengan membuat beberapa input konstan, lalu memvariasikan input yang lain serta merekam output yang dihasilkan untuk memperoleh output yang dihasilkan untuk memperoleh hubungan statik input-output yang diinginkan.

#### **2. Accuracy (Ketelitian)**

Ukuran seberapa dekat pembacaan output sebuah instrumen untuk meminimalisir tingkat kesalahan yang terjadi. Ketelitian berkaitan dengan

alat ukur yang digunakannya misalkan jika kita akan mengukur tebal papan kayu maka kita dapat memilih menggunakan jangka sorong atau mikrometerskrup yang ketelitian kedua alat ini sangat berbeda.

### 3. Precision (Ketepatan)

Ketepatan pengukuran didefinisikan juga sebagai penyimpangan pembacaan yang berbeda dari nilai rata-rata dimana pengukuran dilakukan secara berulang-ulang. Agar mendapatkan pengukuran yang presisi perlu diperhatikan cara melakukan pengukuran.

### 4. Reproducibility

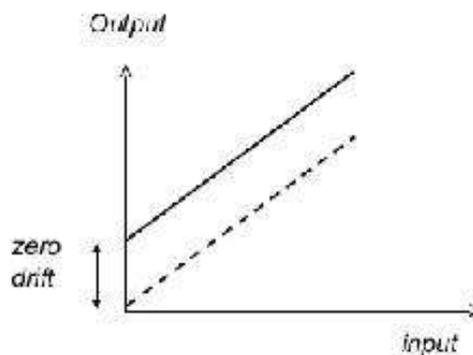
Kedekatan hasil pengukuran output yang dilakukan berulang-ulang, dengan input dan kondisi operasi yang sama dalam periode waktu tertentu.

**Perfect Reproducibility:** instrumen tidak mempunyai **drift** (kalibrasinya tidak bergeser dalam periode waktu panjang: minggu, bulan, tahun).

### 5. Drift

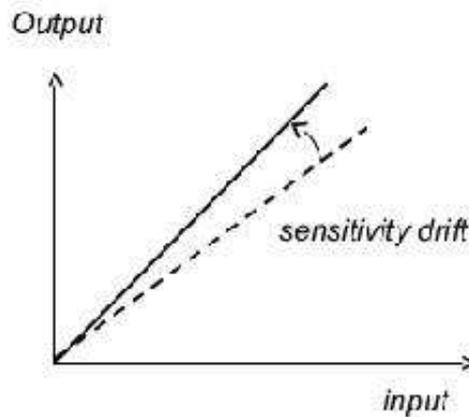
Sebuah perubahan yang tidak diinginkan dalam periode waktu tertentu. Jadi jika drift terjadi, korelasi antara input-output tidak dapat dibuat. Drift biasanya muncul jika instrumen sudah kuno. Drift diklasifikasikan menjadi 3 kategori :

#### a. Zero Drift



Gambar I.4 Zero Drift (Panda, 2017)

b. Span Drift



Gambar I.5 Gambar Zero Drift (Panda, 2017)

c. Zonal Drift: Terjadi selama sebagian dari rentang instrumen.

6. Sensitivity

Respon instrumen terhadap input setelah steady state telah tercapai dinamakan sensitivitas. Atau apabila suatu alat mempunyai respon yang baik pada setiap perubahan yang sangat kecil.

---

7. Resolution

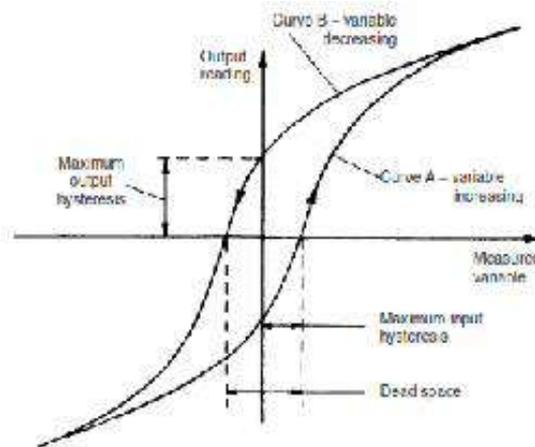
Jika input secara perlahan ditingkatkan dari beberapa nilai masukan bukan nol, outputnya tidak berubah sama sekali sampai kenaikan tertentu terlampaui. Perubahan terkecil pada nilai yang diukur dari respon suatu instrument disebut resolusi.

8. Threshold

Jika input instrumen ditingkatkan secara bertahap dari nol, akan ada beberapa nilai minimum setelah perubahan output yang dideteksi. Nilai minimum ini mendefinisikan threshold (ambang instrument). Maka ambang batas mendefinisikan input terukur terkecil.

## 9. Hysteresis atau Dead Zone

Rentang terbesar dari variabel terukur yang tidak dapat direspon oleh instrumen, kadang-kadang disebut *dead spot* atau *hysteresis*. Histeresis paling sering ditemukan pada instrumen yang mengandung mata air, seperti pengukur tekanan pasif dan rem Prony (digunakan untuk mengukur torsi). Histeresis juga bisa terjadi pada instrumen yang mengandung listrik belitan, histeresis terbentuk di sepanjang inti besi. Ini terjadi dalam perangkat seperti transduser perpindahan induktansi variabel, LVDT dan rotari trafo diferensial. Sedangkan *dead zone* biasanya terjadi pada instrumen penunjuk (*indicating*) atau pencatat (*recording*).



Gambar I.6 Loop Hysteresis

## 10. Backlash

Disebut juga *mechanical hysteresis*: kehilangan gerak yang mungkin terjadi pada elemen mekanik (*gear, linkage*, atau peralatan transmisi mekanik lainnya) karena terputus hubungan (kait-nya tidak kuat).

## 11. True Value

Nilai variabel terukur yang terbebas dari error

$$\text{True value} = \text{Instrument reading} - \text{Static error}$$

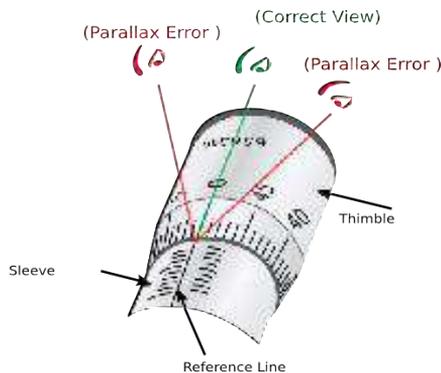
## 12. Static Error

Perbedaan numeris antara nilai sesungguhnya dengan nilai yang diukur oleh instrumen. Dimana nilai sesungguhnya digunakan untuk membuat pengukuran standart dengan mempertimbangkan parameter yang diukur serta kondisi yang terjadi.

### 13. Mistake/ Gross Errors (Kesalahan Umum)

Kesalahan yang disebabkan oleh manusia (ketidak-telitian membaca, penerapan instrumen yang kurang tepat, kesalahan komputasi). Kesalahan yang biasanya terjadi adalah pembacaan alat ukur, penyetelan yang tidak tepat, pemakaian alat yang tidak sesuai, dan kesalahan penaksiran. Kesalahan ini dapat diatasi dengan 2 cara yaitu :

- a. Fokus dalam membaca dan merekam data yang diambil.
- b. Mengulangi pembacaan atau merekam data berulang ulang untuk memperbaiki kualitas data yang sedang diukur.



Gambar I.7 Kesalahan karena pembacaan



Gambar I.8 Gambar Pembacaan yang salah vs Pembacaan yang benar

## 14. Systematic error



Gambar I.9 Pengenalan Meter Tidak Tepat

Kesalahan ini biasanya terdapat pada alat ukur yang akan kita gunakan.

Ada 3 jenis penyebab kesalahan ini:

### a. *Instrumental error:*

Tidak ada alat yang dapat dibangun untuk memenuhi semua spesifikasi sepenuhnya. Oleh karena itu, pabrik selalu menyebutkan kemungkinan kesalahan maksimum dalam konstruksi. Kesalahan ini timbul karena tiga alasan utama :

- a) karena short pada instrumen
- b) karena penyalahgunaan instrumen
- c) karena efek pemuatan instrument

kesalahan pada instrumen ini seperti disebabkan oleh (friksi pada bearing, tegangan pegas/spring) tetapi dapat dihindari dengan:

- (a) pemilihan instrumen yang tepat
- (b) penerapan faktor koreksi setelah penentuan besarnya error
- (c) kalibrasi instrumen terhadap alat standar.

### b. *Environmental error:*

Kesalahan ini disebabkan oleh kondisi yang berbeda di luar perangkat pengukur. kesalahan ini dibahas di bawah ini

- a) variasi temperatur

- b) efek debu, kelembaban, getaran
- c) efek medan elektrostatik dan magnet eksternal
- d) kesalahan mekanis

Namun dapat dihindari dengan :

- (a) menyediakan penyejuk ruangan (AC)
- (b) melapisi komponen tertentu dalam instrumen
- (c) menggunakan perlindungan (*shield*) magnetik

**c. *Observational Errors:***

Kesalahan ini disebabkan

- a) pembangunan skala yang salah
- b) penunjuk yang tidak halus dan lurus
- c) paralaks
- d) efisiensi pengamatan

**15. Random Error**

Kesalahan acak dalam pengukuran disebabkan oleh variasi pengukuran yang tidak dapat diprediksi sistem. Mereka biasanya diamati sebagai gangguan kecil dari pengukuran. Oleh karena itu, kesalahan acak sebagian besar dapat dihilangkan dengan menghitung rata-rata sejumlah pengukuran berulang, asalkan kuantitas yang diukur tetap konstan selama proses mengambil pengukuran berulang. Kesalahan ini tidak dapat dengan langsung diketahui. Kesalahan ini bisa terjadi tetapi kemungkinannya sangat kecil dan mungkin dapat ditangani secara matematis menurut hukum probabilitas seperti standart deviasi dan varian dari data.

**I.1.2.2 Karakteristik Dinamis**

**1. Speed of Response**

Kecepatan instrumen atau alat ukur dalam menanggapi/merespon perubahan variabel yang diukur.

**2. Fidelity**

Tingkat kepercayaan instrumen atau alat ukur dalam menanggapi perubahan variabel terukur tanpa error dinamik.

### 3. Lag

Keterlambatan dalam menanggapi/merespon perubahan variabel terukur.

### 4. Dynamic Error

Perbedaan antara nilai nyata yang bervariasi karena waktu dengan nilai yang ditunjukkan oleh instrumen

d. Zero-Order Instrument

e. First-Order Instrument

f. Second-Order Instrument

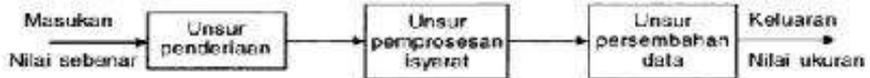
## **I.2 Pengukuran**

### **I.2.1 Pengertian Pengukuran**

Pengukuran adalah membandingkan sebuah besaran fisis yang diukur menggunakan alat ukur seperti tegangan, arus, daya, dan lainnya. Hasil pengukuran biasanya dinyatakan dalam angka ataupun simpulan. Pengukuran dibagi menjadi 2 jenis yaitu pengukuran secara langsung dan pengukuran secara tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah pengukuran yang dapat dilakukan menggunakan alat ukurnya. Contoh pengukuran dengan cara langsung adalah pengukuran arus yang dapat diukur dengan ampermeter, pengukuran tegangan yang dapat diukur dengan voltmeter, pengukuran hambatan yang dapat diukur dengan ohmmeter, pengukuran daya yang dapat diukur dengan wattmeter, dan lain lain. Pengukuran secara tidak langsung adalah pengukuran yang tidak dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur. Contoh pengukuran tidak langsung adalah pengukuran nilai resistansi suatu bahan. Pengukuran nilai resistansi dapat dihitung menggunakan rumus –



Gambar I.10 Proses Pengukuran (Radzi, 2007)



Gambar I.11 Bentuk Umum Sistem Pengukuran (Radzi, 2007)

## I.2.2 Sistem Satuan Dalam Pengukuran

Pengukuran memiliki satuan pengukuran. Satuan pengukuran dibagi menjadi 2 yaitu satuan baku/ Satuan Internasional (SI) dan satuan tidak baku. Satuan baku (satuan internasional) ditentukan dari perjanjian internasional yang menghasilkan tabel satuan internasional.

Tabel I.1 Satuan Internasional

Nama Besaran	Satuan	Simbol	Keterangan
Panjang	meter	m	Panjang jalan yang dilalui oleh cahaya dalam selang waktu $1/299.792.458$ detik
Massa	kilogram	kg	Massa dari silinder platinum – iridium disimpan di dalam Biro Penimbangan dan Ukuran Internasional, Sevres, Paris
Waktu	second	s	$9,192631770 \times 10^9$ siklus radiasi dari cesium-133 menguap (akurasi 1 dalam 10 atau 1 detik dalam 36.000 tahun)

Suhu	Kelvin	K	Perbedaan suhu antara nol mutlak dan titik tripel air didefinisikan sebagai 273.16 kelvin
Arus	Ampere	A	Satu amper adalah arus yang mengalir melalui dua dalam konduktor paralel yang sangat panjang yang dapat diabaikan penampang ditempatkan 1 meter terpisah dalam ruang hampa dan menghasilkan kekuatan $2 \times 10^7$ newton per meter panjang konduktor
Intensitas Cahaya	Candela	Cd	Satu candela adalah intensitas cahaya yang diberikan arah dari sumber yang memancarkan monokromatik, radiasi pada frekuensi 540 terahertz ( $\text{Hz} \times 10^{12}$ ) dan dengan kerapatan bercahaya ke arah 1.4641 mW / steradian. (1 steradian adalah sudut solid yang, memiliki verteksnya di pusat bola, memotong sebuah luas permukaan bola sama dengan persegi dengan sisi panjang sama dengan jari-jari bola)
Jumlah Zat	Mole	mol	Jumlah atom dalam 0,012 kg massa karbon-12

Satuan tidak baku adalah satuan yang tidak ditetapkan sebagai satuan secara umum, atau sering disebut satuan yang digunakan dalam kehidupan sehari hari.

<b>Nama Besaran</b>	<b>Satuan Tidak Baku</b>
Panjang	Jengkal, Depa, Hasta
Massa	Mayam, Entik
Luas	Tumbak, Bahu

### **I.2.3 Sistem Pengukuran**

Ada dua sistem pengukuran yaitu sistem pengukuran analog dan digital. Sistem pengukuran analog adalah sistem yang mengukur besaran secara kontinyu terus-menerus. Biasanya direpresentasikan dengan jarum. Salah satu contoh sistem pengukuran analog terdapat pada pengukuran arus searah menggunakan amperemeter analog. Sedangkan system pengukuran digital adalah system yang mengukur besaran secara sampling tiap satuan waktu tertentu dan data pengukuran direpresentasikan dalam bentuk angka dalam seven segmen.

### **I.3 Sensor**

Sensor merupakan komponen yang langsung terkontak dengan proses. Berfungsi untuk mengukur variabel dan memberikan output yang mempresentasikan nilai vaiabel tersebut. Jenis-jenis sensor yang digunakan pada sistem otomasi berdasarkan sinyal output yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Berikut adalah jenis sensor berdasarkan sinyal outputnya.

Sensor terdiri atas 3 jenis berdasarkan sinyal outputnya :

- Sensor Analog : meliputi sensor LVDT (Linear Variabel Differential Thransformer), sensor temperatur (thermokopel, thermistor, IC, RTD), LDR, strain gage dan load cell,dll.
- Sensor Digital : meliputi rotary encoder.

- Sensor ON/OFF : meliputi sensor proximity (kapasitif, induktif, infra merah), limit switch, dll.

Sensor berdasarkan aktifitasnya dari konversi atau merubah energi listrik menjadi outputnya, juga dibedakan menjadi 2 yaitu sensor pasif dan sensor aktif.

- Sensor pasif adalah sensor yang tidak membutuhkan power supply dari luar dan outputnya muncul akibat adanya rangsangan (semua energi yang dihasilkan berasal dari masukan). Contoh sensor pasif adalah termokopel. Termokopel mengubah suhu fisik menjadi sinyal tegangan.
- Sensor aktif adalah sensor yang membutuhkan power supply dari luar untuk tambahan sumber energi outputnya. Contoh sensor aktif adalah sistem radar, jarak yang diukur dengan mengirimkan gelombang radio (radar) untuk merefleksikan beberapa objek dan untuk mengukur jangkauan dari sensor.

Di era saat ini banyak dikembangkan pula ‘perangkat cerdas’ Istilah ini digunakan untuk mendeskripsikan paket lengkap sistem pengukuran, atau komponen dalam sistem pengukuran dan prosesor digital. Pengolahan output sensor cerdas dalam memperbaiki kesalahan yang terjadi dalam proses pengukuran membawa perbaikan besar dalam akurasi pengukuran. Perangkat cerdas tersebut dikenal dengan berbagai nama seperti instrumen cerdas, sensor cerdas dan pemancar cerdas. Maka pada materi ini akan dibahas sedikit untuk sensor cerdas.

Sensor cerdas adalah sensor dengan kekuatan pemrosesan lokal yang memungkinkannya bereaksi kondisi lokal tanpa harus merujuk kembali ke pengontrol pusat. Sensor pintar biasanya setidaknya dua kali lebih akurat daripada perangkat non-pintar, telah mengurangi pemeliharaan biaya dan

membutuhkan lebih sedikit kabel ke situs di mana mereka digunakan. Selain itu, jangka panjang stabilitas ditingkatkan, mengurangi frekuensi kalibrasi yang diperlukan.

Fungsi-fungsi yang dimiliki oleh sensor cerdas sangat bervariasi, tetapi terdiri dari setidaknya berikut ini:

- Remote Kemampuan kalibrasi jarak jauh
- Self-diagnosis kesalahan
- Perhitungan otomatis akurasi pengukuran dan kompensasi untuk kesalahan acak
- Penyesuaian untuk pengukuran non-linearitas untuk menghasilkan output linear
- Kompensasi untuk efek pemuatan dari proses pengukuran pada pengukuran sistem.

Sensor cerdas digunakan untuk mengamati lingkungan, kemudian sinyal output dikombinasikan dalam prosesor untuk menyediakan alat ukur yang sempurna.

Proses pengukuran ini tidak dapat diobservasi. Contoh sederhana sensor cerdas adalah kompensasi termal dari transduser untuk memodifikasi sesuatu pada kalibrasi transduser. Aplikasi sensor cerdas yang canggih biasanya menggunakan radar, optik dan inframerah yang digabungkan menjadi satu.

## **REFERENSI**

Kalsi, H S. 2006. *Electronic Instrumentation Second Edition*. New Delhi : Tata McGraw-Hill.

Module 10 Measuring Instruments Version 2 EE IIT, Kharagpur

- Morris, Alan S. 2001. Measurement and Instrumentation Principles. Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann
- Northrop, Robert B. 2005. Introduction to Instrumentation and Measurement Second Edition. Britania Raya : Taylor & Francis Group, LLC
- Panda, Pamaprasad. 2017. Electrical and Electronic Measurement. Silicon Institute Of Technology.
- Purkait, Prithwiraj dkk. 2013. Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation. New Delhi : McGraw Hill Education (India).
- Radzi Mat Isa, Ahmad. 2007. Asas Instrumentasi dan Pengukuran Fizik. Malaysia : Universiti Teknologi Malaysia Skudai Johor Darul Ta'zim.
- Samadikun, Samaun dkk. 1989. Sistem Instrumentasi Elektronika. Bandung : Institute Teknologi Bandung.
- Waluyanti, Sri dkk. 2008. Alat Ukur dan Teknik Pengukuran Jilid 1 untuk SMK. Jakarta : Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Webster, John G. 1999. The Measurement Instrumentation And Sensors. US : CRC Press LLC.

## **BAB II**

### **SENSOR PERPINDAHAN**

Sensor perpindahan dan posisi adalah dua sensor yang saling berkaitan. Sensor perpindahan adalah sensor yang digunakan untuk mengukur gerakan suatu objek. Sedangkan sensor posisi adalah sensor yang digunakan untuk menentukan posisi atau letak suatu objek. Parameter dasar yang dipakai dalam pengukuran perpindahan dan posisi antara lain: posisi, kecepatan, percepatan, gaya, ketebalan, akselerasi, dan *proximity* (kedekatan). Adapun jenis sensor perpindahan dan posisi yang akan dibahas pada bab ini adalah sebagai berikut.

1. Sensor perpindahan resistif (potensiometer),
2. Sensor perpindahan kapasitif,
3. Sensor perpindahan induktif,
4. Sensor perpindahan enkoder optik,
5. Sensor perpindahan magnetik.

#### **II.1 Sensor Perpindahan Resistif**

Sensor perpindahan resistif adalah sensor yang nilai resistansinya dapat berubah-ubah. Sensor ini bekerja berdasarkan nilai resistansi yang sebanding dengan resistivitas (besar tahanan tertentu) dan panjang sebuah konduktor serta berbanding terbalik dengan luas daerah sebuah konduktor. Maka dapat dituliskan rumus sebagai berikut:

—

Dengan keterangan:

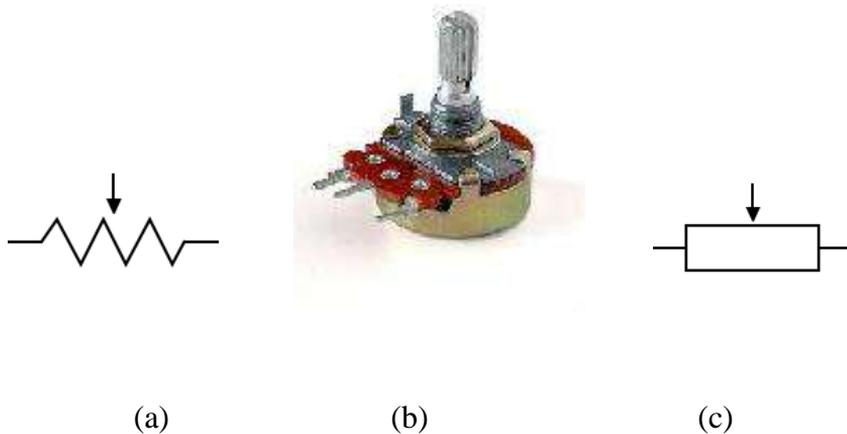
R : Resistansi ( $\Omega$ )

      : Resistivitas pada tahanan tertentu ( $\Omega\text{m}$ )

$l$  : Panjang sebuah konduktor (m)

$A$  : Luas daerah sebuah konduktor ( $m^2$ )

Sensor resistif meliputi potensiometer, termistor, LDR (*Light Dependent Resistor*), RTD (*Resistance Temperature Detector*). Potensiometer bisa disebut juga dengan “pot”. Potensiometer tergolong dalam variabel resistor yang artinya resistansinya dapat berubah sebanding dengan posisi. Perubahan resistansi bergantung pada *wiper*. Berikut adalah simbol potensiometer:



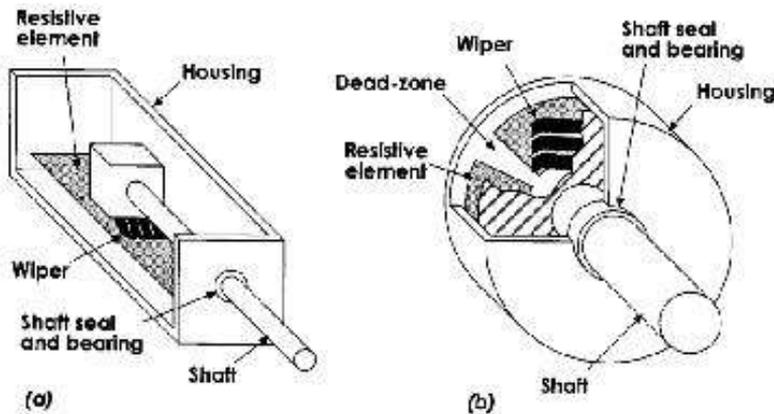
Gambar II.1 Bentuk potensiometer tipe (a) *single-turn* (b) Simbol potensiometer standar IEC (c) Simbol potensiometer standar ANSI

Potensiometer ini dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan jalur elemen resistifnya, yaitu potensiometer yang perpindahannya secara linier dan potensiometer yang perpindahannya secara rotari atau berputar.

Potensiometer linier adalah sensor yang perpindahannya dengan cara bergeser atau linier. Potensiometer ini mengubah gerak linier ke dalam suatu resistansi variabel yang bisa diubah langsung ke sinyal tegangan atau arus. Potensiometer ini biasanya ada gearnya. Untuk gear yang besar, semakin banyak putarannya maka pergeseran atau perpindahannya sedikit. Dan untuk

gear yang kecil, semakin banyak putarannya maka pegeseran atau perpindahannya semakin banyak.

Potensiometer rotari adalah sensor yang perpindahannya dengan cara berputar. Potensiometer ini mengubah gerak putar ke dalam suatu resistansi variabel yang bisa diubah langsung ke sinyal tegangan atau arus. Gambar 2.2. merupakan gambar potensiometer geser dan rotari.



Gambar II.2 (a) Potensiometer geser (b) potensiometer rotari (diambil dari buku “*Measurement Instrumentation and Sensor*” (Webster, 1999)

- Kelebihan potensiometer:
  1. Mudah digunakan.
  2. Murah.
  3. Teknologi sudah teruji.
  4. Komponen pasif.
  
- Kekurangan potensiometer :
  1. *Bandwidth* terbatas.
  2. Gesekan akibat *wiper* dengan elemen resistif bisa menimbulkan panas pada potensiometer sehingga menyebabkan tidak awet.

Adapun aplikasi sensor perpindahan resistif diantaranya untuk:

1. Sebagai kalibrasi atau penyetelan, biasanya digunakan adalah jenis trimpot.
2. Sebagai pengatur volume pada berbagai peralatan audio atau video seperti *amplifier*, *tape mobil*, *DVD player*.
3. Sebagai pengatur tegangan pada rangkaian catu daya.
4. Sebagai *joystick* pada transduser.
5. Sebagai Pengendali level sinyal.

## 2.2 Sensor Perpindahan Kapasitif

Sensor kapasitif adalah sensor yang mendeteksi perpindahan, bekerja berdasarkan sifat kapasitansi. Sensor ini umumnya terdiri dua buah pelat yang didekatkan yang jika diberi beda potensial atau tegangan maka akan timbul kapasitansi antara kedua plat tersebut. Antara kedua plat tersebut umumnya dipisahkan oleh material seperti udara yang biasanya disebut bahan dielektrik atau permitivitas. Sensor ini bekerja berdasarkan nilai kapasitansi yang sebanding dengan luas daerah plat dan permitivitas serta berbanding terbalik dengan jarak antara pelat. Yang dapat dirumuskan menjadi :

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{x}$$

Dengan keterangan:

C : Nilai kapasitansi dalam satuan Farad (F)

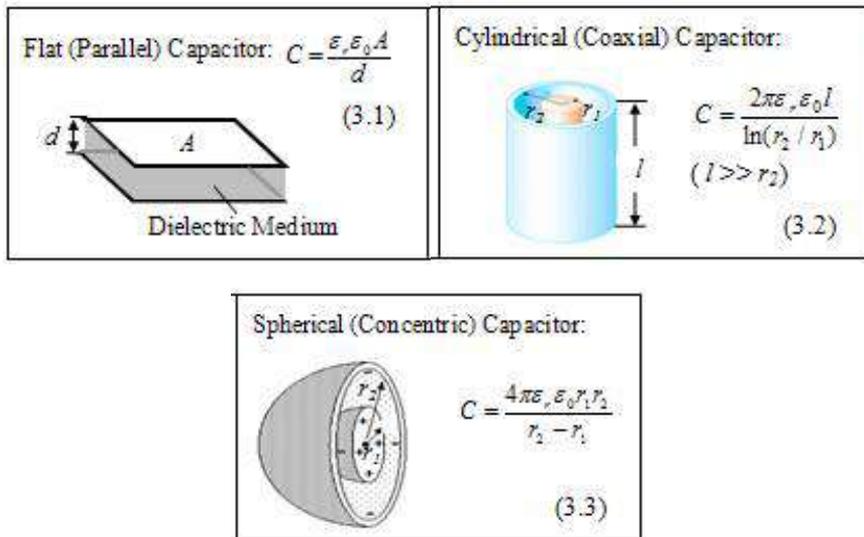
$\epsilon_0$  : Permitivitas ruang hampa (  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m )

$\epsilon_r$  : Permitivitas relatif (udara = 1 )

x : Jarak antara plat (m)

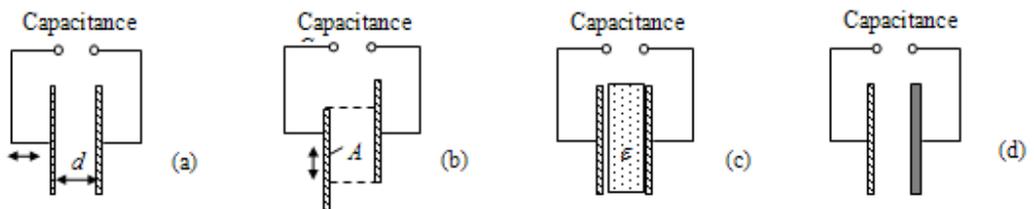
A : Luas penampang pelat (m<sup>2</sup>)

Komponen yang paling utama dalam sensor ini adalah kapasitor. Ada tiga jenis konfigurasi dari kapasitor yaitu kapasitor *flat* (paralel), kapasitor silinder (koaksial) dan kapasitor bola (konsentris). Masing – masing kapasitor ini mempunyai rumus sebagai berikut:



Gambar II.3 Paralel, silinder, dan kapasitor bola (Winncy, 2008)

Secara umum sensor kapasitif yang banyak digunakan adalah konfigurasi kapasitor *flat* (paralel) hal ini didasarkan pada perubahan nilai kapasitansi berdasarkan (1) jarak antara pelat, (2) luas penampang pada pelat, (3) konstanta dielektrik (permitivitas suatu material), dan (4) konduktivitas pelat. Gambar 2.4. merupakan contoh konfigurasi kapasitor *flat*.



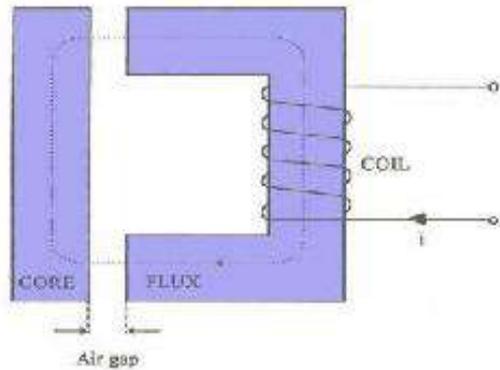
Gambar II.4 Konfigurasi *flat* (Winncy, 2008)

Adapun aplikasi sensor perpindahan kapasitif diantaranya untuk:

1. Sensor tekanan : menggunakan sebuah membran yang dapat merenggang sehingga tekanan dapat dideteksi dengan menggunakan *spacing-sensitive detector*.
2. Sensor berat : menggunakan perubahan nilai kapasitansi diantara kedua plat yang jarak kedua plat berubah sesuai beban berat yang diterima.
3. Ketinggian cairan : menggunakan perubahan nilai kapasitansi antara kedua pelat konduktor yang dicelupkan kedalam cairan.
4. Jarak : jika sebuah objek metal mendekati elektroda kapasitor, didapat nilai kapasitansi yang berubah-ubah.
5. Layar sentuh : dengan menggunakan X-Y *tablet*.

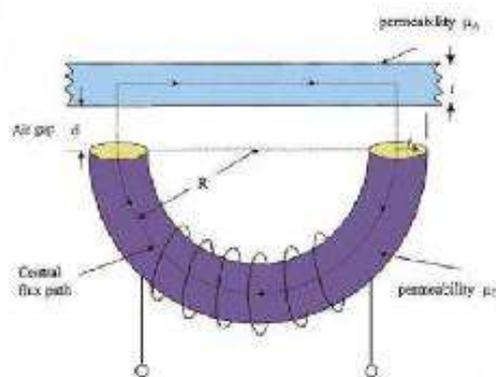
### **2.3 Sensor Perpindahan Induktif**

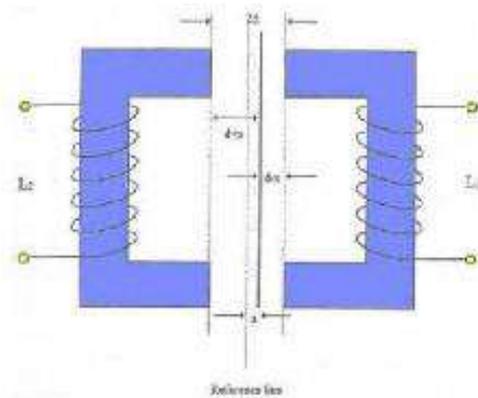
Sensor ini dibagi menjadi dua, tipe aktif dan tipe pasif. Tipe aktif dapat menghasilkan tegangan saat ada gerakan relatif antara konduktor dan medan magnetik. Tipe pasif memerlukan sumber energi dari luar. Sensor perpindahan induktif pada dasarnya terdiri dari sirkuit magnetik dari inti feromagnetik dengan kumparannya seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Kumparan berperan sebagai sumber gaya magnet yang mengarahkan fluks magnet melalui sirkuit magnetik dan celah udara. Adanya celah udara menyebabkan peningkatan reluktansi dan mengurangi fluks. Oleh karena itu, variasi kecil pada celah udara menghasilkan perubahan induktansi yang terukur.



Gambar II.5 Sensor Perpindahan Induktif

Jenis lain dari sensor perpindahan induktif adalah *single-coil linear variable-reluctance sensor* yang reluktansinya bergantung pada variabel tunggal dan reluktansinya bertambah tidak linear terhadap perluasan celah. Selain itu, ada *variable-differential reluctance sensor* yang terdiri dari *armature* diantara dua inti identik yang dipisahkan pada jarak tertentu. *Armature* bergerak di celah udara masuk sebagai tanggapan dari masukan mekanik. Gerakan ini merubah reluktansi kumparan satu dan dua, sehingga mengubah sifat induktifnya. *Variable-differential reluctance sensor* merupakan solusi dari ketidaklinearan hasil dari *single-coil linear variable-reluctance sensor*.





Gambar II.6 *Single-Coil Linear Variable-Reluctance Sensor* dan *Variable-Differential Reluctance Sensor*

Selain sebagai sensor posisi dan perpindahan, sensor jenis induktif ini dapat digunakan untuk keperluan industri lainnya, seperti: (1) Pendeteksi logam besi-baja, kobalt, dan nikel. (2) *Motion control* pada industri rakitan otomatis. (3) Pendeteksi bit rusak. (4) Sistem kontrol konveyor. (5) Pendeteksi keberadaan benda dalam aplikasi *pick-and-place* selama inspeksi otomatis.

## 2.4 Optical Position Encoder

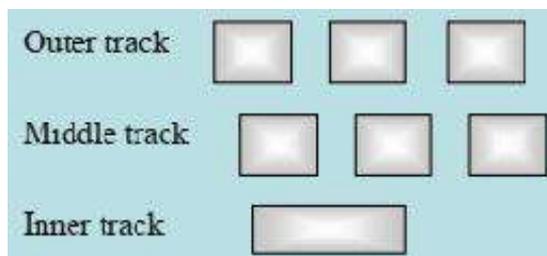
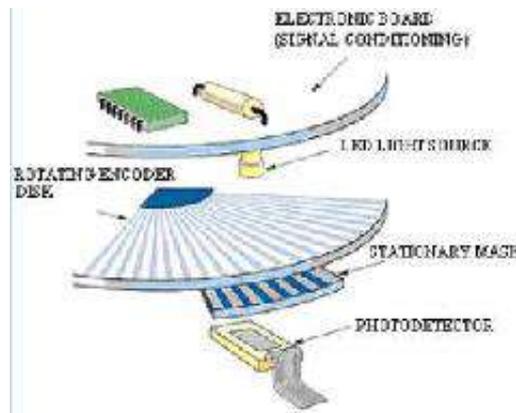
*Optical Position Encoder* merupakan alat ukur yang memberikan keluaran digital sebagai hasil dari perpindahan linear maupun angular. *Optical Position Encoder* dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *incremental encoder* dan *absolute encoder*.

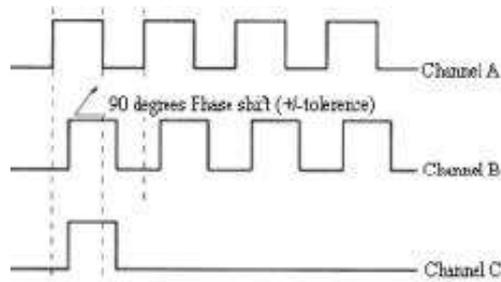
### 2.4.1 Incremental Encoder

*Incremental encoder* merupakan alat ukur perpindahan yang digunakan untuk mendeteksi perpindahan angular dari posisi datum benda. Posisi datum merupakan sekumpulan parameter yang mendefinisikan suatu sistem koordinat dan menyatakan posisinya

terhadap permukaan bumi. Keluaran dari *incremental encoder* memberikan informasi tentang gerakan poros benda yang biasanya diproses menjadi informasi lain seperti posisi, kecepatan, dan jarak.

*Incremental encoder* merupakan alat ukur perpindahan angular yang paling banyak digunakan, karena biaya yang dibutuhkan untuk membuat sistem *incremental encoder* lebih murah dan resolusi *incremental encoder* pun tidak terbatas. *Incremental encoder* juga mampu menghasilkan informasi keluaran secara *real-time*. *Incremental encoder* dapat melaporkan posisi tanpa perintah khusus lainnya dan menyampaikan informasi lebih cepat daripada *encoder* lainnya. Maka dari itu, *incremental encoder* sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pengukuran posisi secara cepat dan tepat. Contoh *incremental encoder* akan ditunjukkan pada gambar berikut.





Gambar II.7 *Incremental encoder*

Cara kerja *incremental sensor* sebagai berikut: cahaya dilewatkan melalui slot di dalam piringan dan dideteksi oleh sensor cahaya yang sesuai. Ketika piringan diputar, pulsa keluaran dihasilkan oleh sensor dengan jumlah pulsa yang sebanding dengan sudut yang dilewati oleh diskrotat. Biasanya digunakan tiga jalur untuk memantau posisi.

## 2.4.2 *Absolute Encoder*

*Absolute encoder* digunakan untuk memberikan posisi angular secara aktual. Keluaran dari *absolute encoder* menunjukkan posisi poros saat ini, *absolute encoder* sering disebut sebagai transduser sudut. *Absolute encoder* mempertahankan informasi ketika daya diputuskan. Berdasarkan konstruksinya, *absolute encoder* dibagi menjadi dua jenis, yaitu optikal dan mekanik.

### 2.4.2.1 *Mechanical Absolute Encoder*

Suatu piringan logam yang berisi sekumpulan cincin-cincin konsentris dari bukaan ditetapkan ke suatu piringan yang terisolasi yang dipasang pada porosnya. Sederetan kontak geser ditetapkan ke objek stasioner sehingga setiap kontak menyeka terhadap piringan logam pada jarak yang berbeda dari poros. Ketika piringan berputar dengan poros, beberapa kontak menyentuh logam, sementara yang lain jatuh ke celah di mana logam telah dipotong. Lembaran logam

terhubung ke sumber arus listrik, dan setiap kontak terhubung ke sensor listrik terpisah. Pola logam dirancang sedemikian rupa sehingga setiap posisi poros yang memungkinkan menciptakan kode biner yang unik di mana beberapa kontak terhubung ke sumber saat ini (diaktifkan) dan yang lainnya tidak (dimatikan) seperti yang terlihat pada Tabel 2.1. Karena kontak *brush-type* rentan untuk dipakai, pembuat encode yang menggunakan kontak ini tidak umum. Kontak ini bisa ditemukan dalam aplikasi berkecepatan rendah seperti volume manual atau kontrol penyetelan dalam penerima radio.

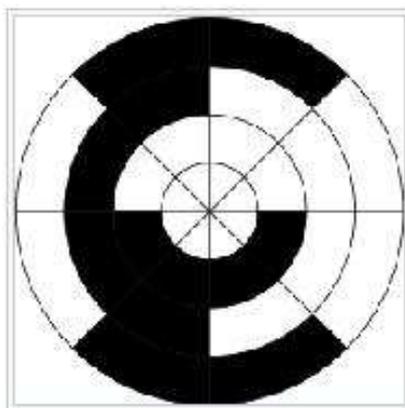
Tabel II.1 Algoritma Standar Kode Biner pada *Mechanical Absolute Encoder*.

Sektor	Kontak 1	Kontak 2	Kontak 3	Sudut
0	Off	Off	Off	0 – 45
1	Off	Off	On	45 – 90
2	Off	On	Off	90 – 135
3	Off	On	On	135 – 180
4	On	Off	Off	180 – 225
5	On	Off	On	225 – 270
6	On	On	Off	270 – 315
7	On	On	On	315 – 360

#### 2.4.2.2 *Optical Absolute Encoder*

Terbuat dari kaca atau plastik dengan area transparan dan buram seperti yang terlihat pada **Gambar 2.9**. Sumber cahaya dan detektor foto membaca pola optikal yang dihasilkan. Algoritma pembacaan

pada *optical absolute encoder* disebut kode gray. Penjelasan algoritma kode gray terlihat pada **Tabel 2.2**.



Gambar 2.II.8 Skema *Optical Absolute Encoder* (diambil dari [en.wikipedia.org/Rotary\\_encoder](http://en.wikipedia.org/Rotary_encoder))

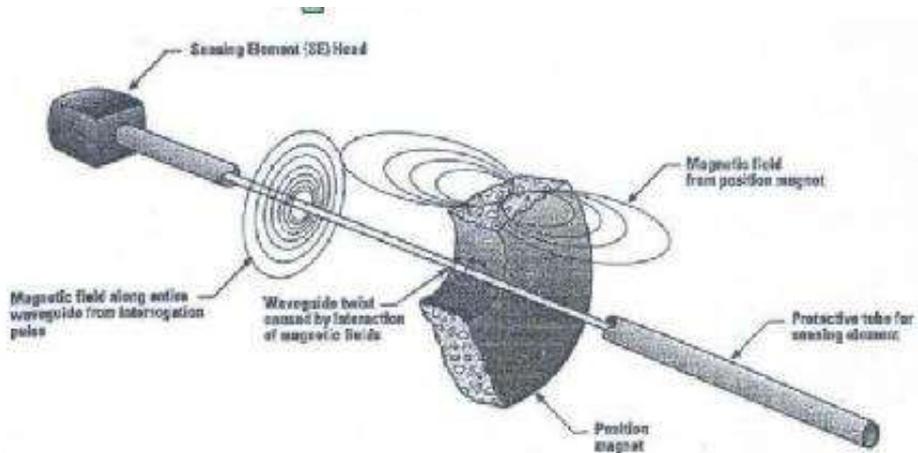
Tabel II.2 Algoritma Kode Gray pada *Optical Abosolute Encoder*.

Sektor	Kontak 1	Kontak 2	Kontak 3	Sudut
0	Off	Off	Off	0 – 45
1	Off	Off	On	45 – 90
2	Off	On	On	90 – 135
3	Off	On	Off	135 – 180
4	On	On	Off	180 – 225
5	On	On	On	225 – 270
6	On	Off	On	270 – 315
7	On	Off	Off	315 – 360

## 2.5 Magnetostrictive Displacement Sensor

Sensor ini biasa disebut juga *magnetostrictive transducer* atau *magnetoelastic* yang terdiri dari tiga bagian, yaitu: kumparan, inti

magnetoelastik, *sensing shaft*. Dalam sensor ini, perubahan posisi pada *sensing shaft* mengakibatkan tekanan di inti poros sensitif. Permeabilitas bahan inti berubah karena tekanan dan memengaruhi induktansi dari lilitan di sekitar inti. Induktansi menyatakan posisi porosnya.



Gambar II.9 *Magnetostrictive Displacement Sensor*

## REFERENSI

- Bohr Physics. 2006. Displacement and Position Sensors. Diakses dari diambil dari bohr.physics.hku.hk pada tanggal 31 September 2018
- Fraden, J. 2010. Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications 4th Edition.
- Webster, J, G. 1999. Measurement Instrumentation and Sensor. CRC Press LLC.
- Winncy, Y, D. and Scott, W, Y. Resistive and Capacitive Based Sensing Technologies. Jurnal Sensors & Transducers Journal, Vol. 90, Special Issue, April 2008, pp. 100-116.

# SENSOR PENGUKURAN INERSIA

## III.1 Pendahuluan

Awal mula penggunaan sensor pengukuran inersia atau lebih dikenal dengan IMU (Inertial Measurement Unit) yaitu sekitar tahun 1930 untuk navigasi pesawat terbang dan perangkat besar dan belum ada penggunaan IMU untuk perangkat yang kecil, harga dan konsumsi daya relatif besar (Norhafizan, 2013). Beda dengan yang sekarang, sekarang banyak produsen IMU yang bersaing untuk menciptakan sistem yang lebih canggih atau maju seperti sistem pada perangkat smartphone selain itu juga untuk mendapatkan sensor IMU yang ideal, akurat, bentuk minimalis, cepat dalam pembacaan, tahan noise dan hemat energi.

### III.1.1 Sensor IMU

Inertial Measurement Unit (*IMU*) adalah komponen untuk mengukur sistem gerakan linear maupun gerakan sudut. Contoh alat yang menggunakan sensor IMU salah satunya adalah VR (Virtual Reality) yang dibawa dalam kondisi virtual maupun VR yang hanya layar dua dimensi saja seperti CS. Ukuran IMU juga sangat kecil sehingga bias disebut *MEMS* (Micro Electro Mechanical Systems).

Ada 3 sensor utama dalam IMU yaitu sebagai berikut.

- 1) Accelerometer
- 2) Gyroscope
- 3) Magnetometer

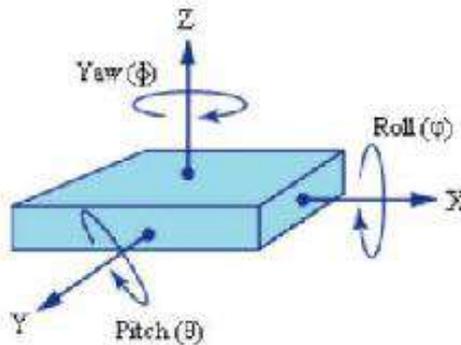
### III.1.2 Accelerometer

Sensor accelerometer adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur percepatan. Ada dua percepatan yang bisa diukur yaitu percepatan linear dan gravitasi. Saat sensor diam, sebenarnya sensor tersebut sedang mengukur percepatan gravitasi dan saat sensor bergerak berarti sensor sedang mengukur percepatan linear. Dari sensor accelerometer kita dapat mengetahui atau menghitung kecepatan dan jarak.

Jenis sensor accelerometer ada tiga tergantung pada basisnya.

1. Accelerometer yang berbasis pegas dan damper
2. Akselerometer piezoelektrik akselerometer ini memanfaatkan prinsip efek piezoelektrik. Sensor terdiri dari kristal piezoelektrik quartz dibebani sebuah massa yang dipasang sedemikian rupa sehingga ketika ada gaya akselerasi (getaran) kristal dapat menghasilkan tegangan. Sensor ini memiliki keakuratan tinggi karena sifat bahannya.
3. Accelerometer yang berbasis kapasitif. Sifat kapasitif ini seperti dua plat jika jaraknya berubah maka kapasitansinya atau tegangannya juga berubah.

Output sensor accelerometer ada yang berupa tegangan dan data. Output tegangan dibaca menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) dan output data dibaca biasanya melalui komunikasi I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit).

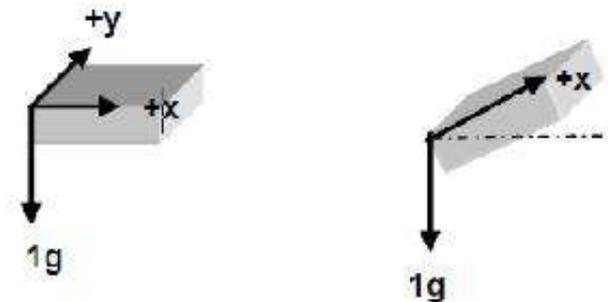


Gambar 3.III.1 Perbedaan perubahan sudut roll, pitch, dan yaw

Sensor accelerometer selain berfungsi untuk mengukur percepatan linear, bisa juga untuk mengukur kemiringan (perubahan sudut). Dari kemiringan kita bisa mengukur sudut roll, pitch sebagaimana Gambar 1.1. Sudut roll adalah sudut yang rotasinya mengelilingi sumbu X, sudut pitch adalah sudut yang rotasinya mengelilingi sumbu Y. Sementara sudut yang berotasi mengelilingi sumbu Z, dikenal dengan sudut yaw, akselerometer tidak dapat digunakan untuk menentukannya karena sudut yaw ini tidak dipengaruhi oleh gravitasi bumi. Sensor ini umumnya bersatuan “g” yang menyatakan kemampuan maksimal percepatan gravitasi yang mampu diukurnya misalnya  $\pm 1g$ ,  $\pm 2g$ ,  $\pm 3g$ , dan seterusnya dimana “g” adalah menyatakan gravitasi  $\pm 9.8 \text{ m/s}^2$ .

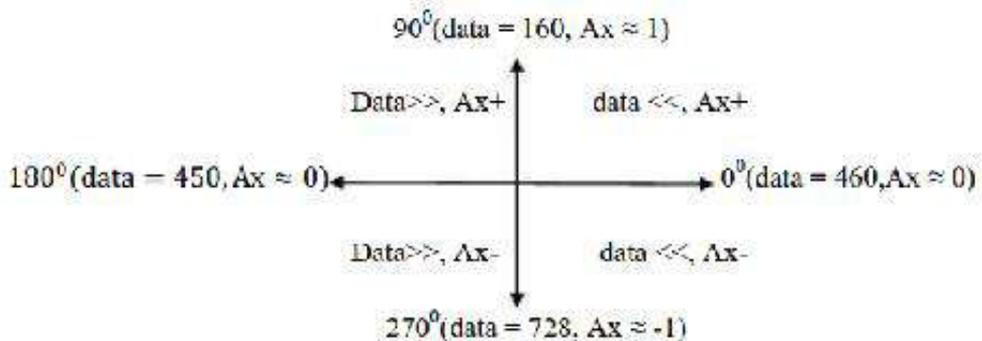
Spesifikasi accelerometer dapat dilihat dari berapa “g” yang mampu diukurnya serta sumbu axis atau arah percepatan yang dapat diukur yang dinyatakan dalam x, y, z.

### III.1.2.1 Akselerometer sebagai pengukur percepatan gravitasi



Gambar 3.III.2 Perubahan kemiringan pada satu sumbu (AN3461, 2007)

Sebelumnya telah disebutkan bahwa akselerometer dapat digunakan untuk mengukur percepatan linier maupun percepatan gravitasi. Pada pengukuran percepatan gravitasi, akselerometer dapat digunakan untuk mengetahui sudut kemiringan terhadap bumi. Pada akselerometer satu sumbu, dari gambar 1.2 perubahan kemiringan hanya pada sumbu X dengan hubungan trigonometri pada persamaan 3.1. kondisi nilai tegangan/data akselerometer pada sumbu-x ini dapat dibagi menjadi empat kuadran saat diputar dari  $0^0$ - $360^0$  sebagaimana terlihat pada Gambar 1.3



Gambar 3.III.3 pembagian kuadran sensor akselerometer sumbu-x

$$V_{out}(x) = V_{off} + S \times \sin \theta$$

Keterangan:

$V_{out}(x)$  : output tegangan pada sumbu-x

$V_{off}$  : tegangan offset (tegangan/data pada posisi 0 g/datar)

$S$  : sensitivitas (selisih antara tegangan/data pada posisi 1g/tegak dan 0g/datar)

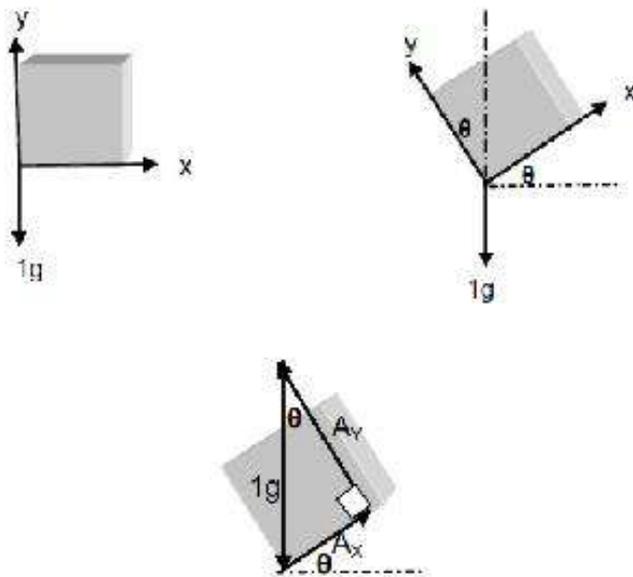
Sehingga output percepatannya dalam skala  $\pm 1g$  adalah,

$$a_x = \frac{V_{out}(x) - V_{off}}{S}$$

Maka,  $\theta = \sin^{-1}(a_x)$

Terlihat bahwa pada posisi kuadran 1 dan 2, serta 3 dan 4 akan terdapat nilai yang sama pada kondisi sudut tertentu. Misalnya pada sudut  $30^\circ$  dan  $150^\circ$  yang mempunyai nilai percepatan yang sama 0,5 g. Hal ini yang merupakan kelemahan dari pengukuran sudut jika hanya menggunakan akselerometer satu sumbu. Sehingga akan lebih baik jika dapat dikombinasikan dengan menambahkan akselerometer pada sumbu tegak menggunakan dua sumbu.

### III.1.2.2 Mengukur Kemiringan Menggunakan Dua Sumbu



Gambar 3.III.4 Perubahan kemiringan pada dua sumbu (AN3461, 2007)

Pada akselerometer satu sumbu kita dapatkan  $a_x = \sin \theta$  dan untuk sumbu tegak diperoleh  $a_y = \cos \theta$ . Jika  $a_x$  dan  $a_y$  dikombinasikan maka  $\frac{a_x}{a_y} = \tan \theta$  dengan posisi kuadran dan nilai  $a_x$  dan  $a_y$  sebagaimana Gambar

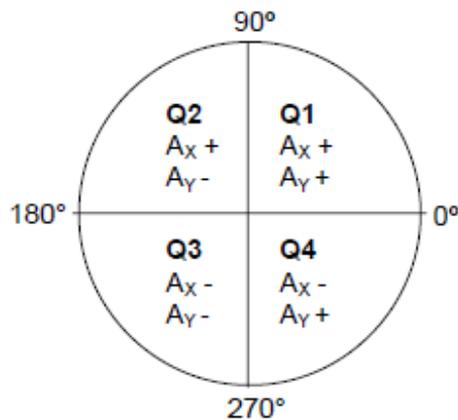
3.5, maka dapat dihitung sudut kemiringan akselerometer adalah:

$$\text{kuadran 1} = \tan^{-1} \frac{a_x}{a_y}$$

$$\text{kuadran 2} = \tan^{-1} \frac{a_x}{a_y} + 180^\circ$$

$$\text{kuadran 3} = \tan^{-1} \frac{a_x}{a_y} + 180^\circ$$

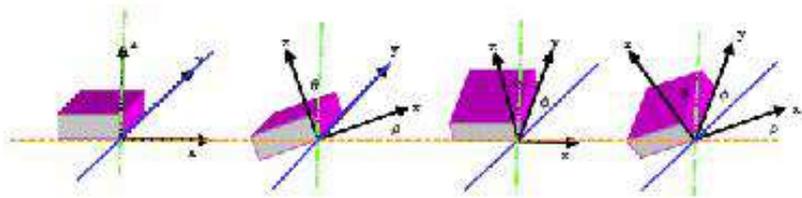
$$\text{kuadran 4} = \tan^{-1} \frac{a_x}{a_y} + 360^\circ$$



Gambar 3.III.5 Rotasi dan pembagian kuadran untuk akselerometer dua sumbu

Agar dapat dilakukan pengukuran sudut kemiringan terhadap tiga dimensi roll, pitch dan teta sebagaimana Gambar 1.6 maka diperlukan akselerometer tiga sumbu

## Mengukur Kemiringan Menggunakan Tiga Sumbu



Gambar III.6 Perubahan kemiringan pada tiga sumbu  
Pengukuran kemiringan pada tiga sumbu sebagai berikut.

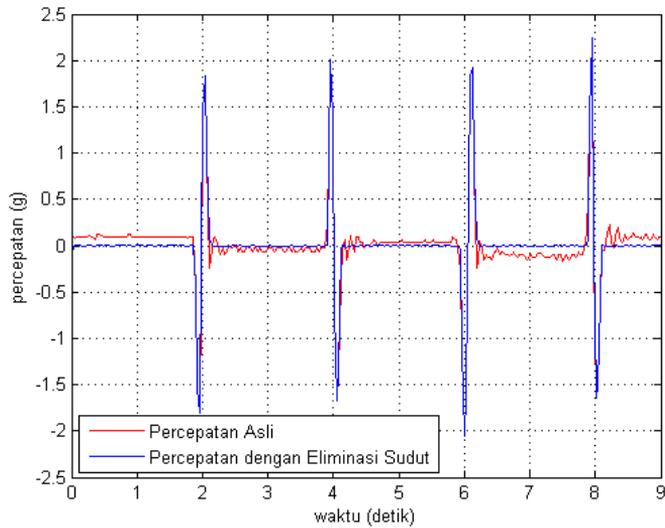
$$\rho = \tan^{-1} \left( \frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z} \right)$$

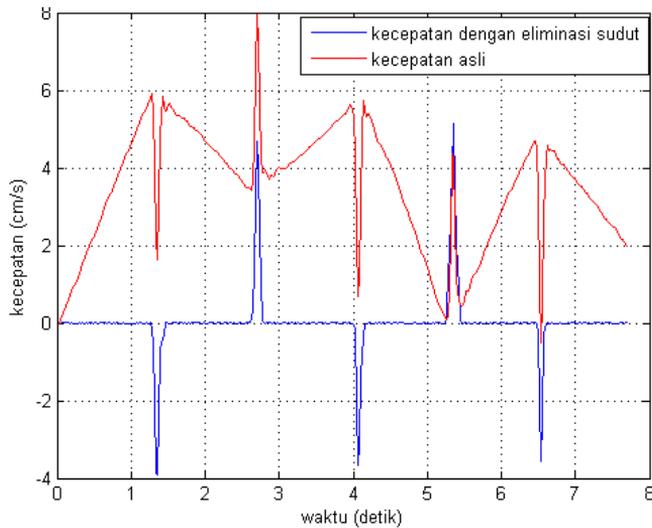
### A. Akselerometer untuk mengukur percepatan linier

Pengukuran percepatan linier menggunakan akselerometer dapat langsung dilakukan dengan menggerakkan akselerometer pada sumbu yang sesuai. Namun yang perlu diperhatikan adalah ketika digerakkan, akselerometer tersebut tidak dalam kondisi miring karena jika dalam kondisi miring, data yang terbaca akselerometer telah dipengaruhi oleh data gravitasi yang harus dihilangkan terlebih dahulu. Hal ini dapat dilihat pada Gambar III.7



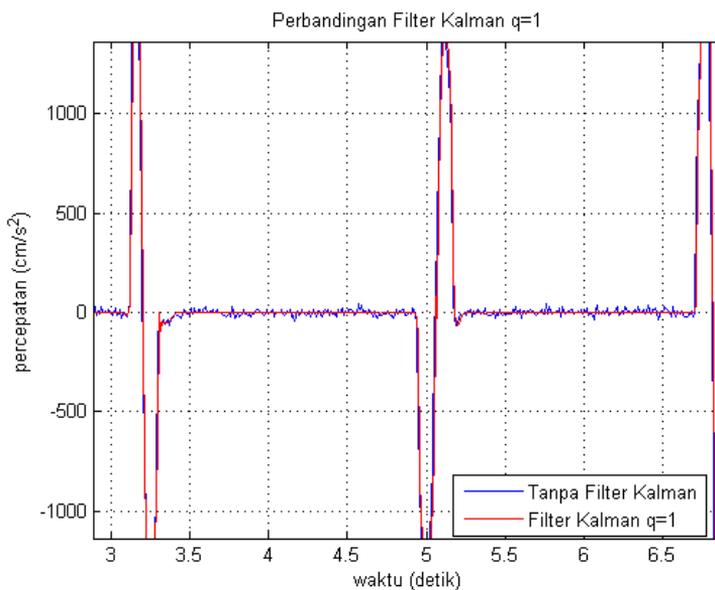
Gambar III.7 Perbandingan data akselerometer terpengaruh sudut dan penghilangan pengaruh sudut (Fathoni dan Prastiyanto, 2017)

Pengaruh percepatan sudut ini apabila digunakan untuk mengukur kecepatan dan posisi dimana kita ketahui bahwa percepatan merupakan turunan kecepatan dan kecepatan adalah turunan dari perpindahan, dapat menghasilkan perhitungan yang salah. Hal ini terlihat pada Gambar 1.8



Gambar III.8 Perbandingan kecepatan terpengaruh sudut dan penghilangan pengaruh sudut (Fathoni dan Prastiyanto, 2017)

Selain itu, data akselerometer juga rentan terhadap derau sehingga perlu dihilangkan. Salah satu metode filter yang dapat digunakan adalah Filter Kalman karena selain dapat mereduksi derau, juga bekerja sebagai *state observer* yang berfungsi untuk mengestimasi kecepatan dan perpindahan tanpa diketahui nilainya, namun cukup dari pengukuran percepatan yang diperoleh melalui akselerometer. (Fathoni dan Prastiyanto, 2017). Hasil penghilangan derau menggunakan Filter Kalman dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar III.9 Percepatan dengan Filter Kalman dan tanpa Filter

Gambar III.7-III.9 merupakan pengukuran percepatan liner menggunakan akselerometer dimana akselerometer digerakkan ke kiri dan ke kanan secara berurutan terus-menerus.

### III.1.3 Gyroscope

Sensor gyroscope adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur kecepatan sudut. Sensor Prinsip kerjanya gyroscope, ketika gyroscope bergerak maka akan menghasilkan tegangan output. Pada saat gyroscope diam maka tegangan akan konstan. Ketika

gyroscope berputar searah jarum jam terhadap sumbu Z maka tegangan output berkurang (-Z), dan ketika berputar berlawanan jarum jam maka tegangan output bertambah(+Z). Satuannya ( $^{\circ}/s$ ) yang dialami oleh suatu benda pada *yaw*. Sehingga dengan memanfaatkan data kecepatan sudut tersebut dapat diketahui sudut kemiringan suatu benda. Output yang dihasilkan oleh gyroscope berupa kecepatan sudut yang pada sumbu x akan menjadi  $\phi(\Phi)$ , sumbu y menjadi  $\theta(\theta)$ , dan sumbu z menjadi  $\psi(\psi)$ . Sebuah giroskop di sisi lain memiliki kemampuan mengukur tingkat rotasi di sekitar sumbu tertentu. Sebagai contoh jika giroskop yang digunakan untuk mengukur laju rotasi di sekitar sumbu gulungan pesawat terbang. Pada perkembangan terakhir gyroscope berfokus pada teknologi micro-photonics dan micro-electro-mechanics. Sebagian besar giroskop Micro Electromechanical Sistem (*MEMS*) didasarkan pada elemen getar mesin untuk merasakan rotasi.

Kelebihan dan kelemahan sensor Gyroscope :

- Rentang skala penuh-kecepatan sudut maksimum.

- Chip lebih besar.

- Harganya mahal.

- Mengukur gerakan rotasi manusia.

- Digunakan untuk mengukur atau mempertahankan orientasi perangkat.

Gambar III.10 Konfigurasi Pin Sensor ITG-3200



Gambar III.11 Contoh modul Gyroscope

#### 1. Magnetometer

Magnetometer adalah instrument ilmiah yang digunakan untuk mengukur kekuatan atau arah medan magnet disekitar alat tersebut dan banyak digunakan untuk berbagai penyelidikan, antara lain untuk penelitian bahan-bahan magnetik, mendeteksi barang bawaan dan pemetaan medan magnet bumi. Sensor IMU umumnya terdiri dari kombinasi sensor percepatan (accelerometer), sensor angular (gyroscope) dan sebagian ada yang dilengkapi dengan sensor penentuan medan magnet (magnetometer) untuk menjejaki

keberadaan dan pergerakan suatu benda. Magnetometer adalah sensor digunakan untuk mengukur kekuatan atau arah medan magnet di sekitarnya. Salah satu contoh sensor magnetometer yang dapat digunakan adalah sensor HMC58883L (tripleaxis magnetometer). Untuk konfigurasi pin sensor ini dapat dilihat di **Gambar 3.1**, sedangkan beberapa fitur dari sensor ini diantaranya adalah sebagai berikut. Salah satu contoh sensor magnetometer yang dapat digunakan adalah HMC58883L.

Gambar III.12 Konfigurasi pin HMC58883L

## **B. Aplikasi IMU**

Aplikasi IMU dari yang awalnya digunakan untuk pesawat terbang sekarang merambah ke berbagai bidang antara lain medis, robotik, olahraga, sistem Augmented Reality, dan banyak lagu.

1. IMU dalam bidang medis digunakan untuk analisis gerakan dan pengukuran seperti contohnya rehabilitasi stroke, rehsbilitasi pasca trauma, dan postur tubuh.
2. IMU dalam bidang robotik digunakan untuk membantu manusia dalam melakukan aktivitasnya. Contohnya robot berkaki empat

berkaki empat, StarIETH [17] yang dilengkapi dengan IMU dari X-Sens sebagai bagian dari mekanisme sensoriknya.

3. IMU dalam bidang olahraga digunakan untuk mematenkan desain dan melacak lintasan olahraga. Contohnya mengukur percepatan dan kecepatan ayunan pada olahraga golf.
4. IMU pada sistem Augmented Reality digunakan untuk navigasi pejalan kaki atau tentara.
5. IMU pada system navigasi pesawat

## REFERENSI

- Ardiantara, Praja Sapta dkk. 2014. *Purwarupa Kontrol Kestabilan Posisi dan Sikap pada Pesawat Tanpa Awak Menggunakan IMU dan Algoritma Fusion Sensor Kalman Filter*. IJEIS. Vol 4. Hal 23-34. <https://jurnal.ugm.ac.id/ijeis/article/viewFile/4219/3473>
- Fathoni, K., & Prastiyanto, D. (2017). Pengenal Gerakan dengan Joystick Akselerometer Menggunakan Filter Kalman. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(3), 172-178.
- Hidayatno, A., & Wahyudi. (2011). *Rancang Bangun Inertial Measurement Unit Sebagai Sistem Monitoring Kendaraan Bergerak Berbasis Sensor Accelerometer dan Gyroscope*. *Jurnal Rekayasa Elektrika* Vol, 9(4), 187–194.
- Melita, Rahmi Agus dkk. 2016. *Pengendalian Kamera berdasarkan Deteksi Posisi Manusia Bergerak Jatuh berbasis Multi Sensor Accelerometer dan Gyroscope*. ELKOMIKA Vol 6, 259-273.
- Ahmad, Norhafizan dkk. 2013. *Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications*. *International Journal of Signal Processing Systems* Vol. 1 No. 2, December 2013.
- Tuck, K. (2007). Tilt sensing using linear accelerometers. *Freescale semiconductor application note AN3107*.

Pramana Yuga Aditya. *Accelerometer, Gyroscope dan Magnetometer Berbasis Mikrokontroler Untuk Menampilkan Posisi Benda Menggunakan Inertial Navigation System (INS)*. Jurnal Universitas Komputer Indonesia. Indonesia.

## SENSOR PENGUKURAN SUHU

Pengukuran suhu atau lebih dikenal juga dengan sebutan termometri yaitu suatu proses yang menggambarkan pengukuran suhu yang dideteksi oleh suatu sensor suhu. Sensor Suhu atau *Temperature Sensors* adalah suatu komponen yang dapat mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat mendeteksi gejala perubahan suhu pada obyek tertentu. Sensor ini menghitung jumlah energi panas atau energi dingin yang dapat dihasilkan oleh suatu objek yang dapat kita ketahui atau deteksi perubahan perubahan suhu tersebut dalam bentuk keluaran yang berupa data analog maupun digital.

Jenis – jenis sensor suhu (temperature Sensor)

Adapun jenis – jenis sensor suhu dapat dibedakan berdasarkan karakteristik dan aplikasinya terhadap suatu objek. Berikut adalah jenis – jenis dari sensor suhu :

### IV.1 Thermistor

Thermistor merupakan singkatan dari thermal resistor yang berarti terdiri dari dua jenis komponen yaitu PTC (Positive Temperature Coefficient) yang nilai dari resistansinya akan meningkat jika terkena suhu tinggi, dan NTC (Negative Temperature Coefficient) yang sebaliknya nilai resistansinya akan turun jika terkena suhu tinggi.

Cara kerja dari Thermistor yang memiliki dua buah kaki terminal, digunakan di dalam rangkaian-rangkaian pengukur suhu atau yang memberikan tanggapan-tanggapan tertentu terhadap perubahan suhu. Komponen ini juga dapat digunakan di dalam rangkaian-rangkaian yang akan mengalami gangguan, atau bahkan kerusakan akibat perubahan

suhu. Thermistor secara otomatis akan bekerja untuk menetralkan efek perubahan suhu.

Adapun Keuntungan dari jenis sensor suhu Thermistor adalah sebagai berikut :

- Memiliki Respon yang cepat atas perubahan suhu.
- Rentang atau Range nilai resistansi yang luas berkisar dari 2.000 Ohm hingga 10.000 Ohm.
- Memiliki sensitivitas suhu yang tinggi.

Pengaplikasian thermistor

Thermistor (PTC/NTC) banyak diaplikasikan kedalam peralatan Elektronika seperti Voltage Regulator, sensor suhu kulkas, pendeteksi kebakaran, Sensor suhu pada Otomotif, Sensor suhu pada Komputer, sensor untuk memantau pengisian ulang Baterai pada ponsel, kamera dan Laptop.

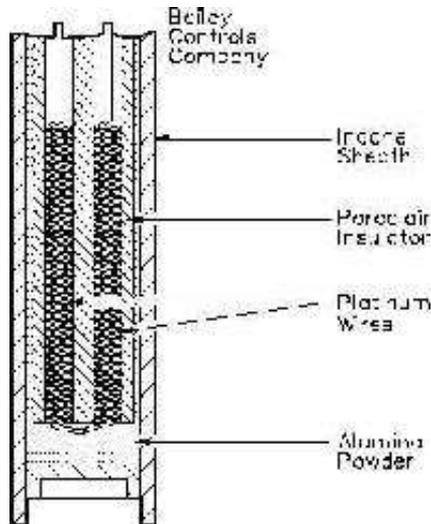
## **IV.2 Resistive Temperature Detector**

Resistive Temperature Detector atau yang biasa disingkat dengan RTD merupakan jenis sensor suhu yang dapat mengubah energi listrik menjadi hambatan listrik yang sebanding dengan perubahan suhu. Biasanya jenis sensor ini terbuat dari bahan platinum sehingga disebut juga dengan platinum resistance thermometer (PRT)

Karakteristik dari jenis sensor RTD

Ada beberapa tipe elemen dari sensor TRD. Pada tipe elemen wire-wound atau tipe standar, RTD terbuat dari kawat yang tahan korosi, yang dililitkan pada bahan keramik atau kaca, yang kemudian ditutup dengan selubung probe sebagai pelindung. Selubung probe ini biasanya terbuat dari logam inconel (logam dari paduan besi, chrom, dan nikel). Inconel dipilih sebagai selubung dari RTD karena tahan korosi dan Ketika ditempatkan

dalam medium cair atau gas, selubung inconel cepat dalam mencapai suhu medium tersebut. Antara kawat RTD dan selubung juga terdapat keramik (porselen isolator) sebagai pencegah hubung pendek antara kawat platina dan selubung pelindung. Adapun gambar yang menunjukkannya seperti dibawah ini



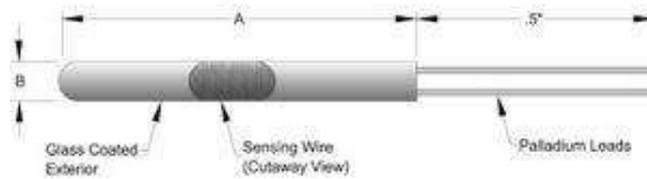
Gambar IV.1RTD (Owen, 2004)

Sedangkan jenis logam untuk kawat dari RTD umumnya adalah platina. Kawat RTD biasanya juga terbuat dari tembaga dan nikel. Namun platina adalah bahan yang paling umum digunakan, karena memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dan rentang suhu yang lebih luas.

Sensor RTD mempunyai dua tipe elemen konfigurasi yang paling umum, yaitu

#### Wire-wound

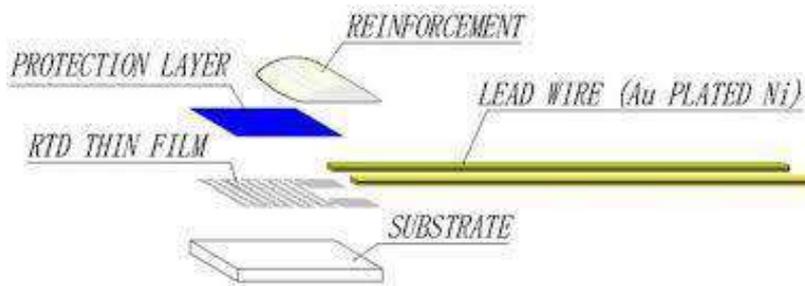
wire-wound merupakan tipe elemen yang terdiri dari kumparan kawat logam (platina) yang melilit keramik atau kaca, yang ditempatkan atau ditutup dengan selubung probe sebagai pelindung.



Gambar IV.2 RTD Wire-wound (Owen.2004)

- Thin-film

Thin-film merupakan tipe elemen RTD yang terdiri dari lapisan bahan resistif yang sangat tipis (umumnya platina), yang diletakkan pada substrat keramik yang kemudian dilapisi dengan epoxy atau kaca sebagai segel atau pelindungnya.

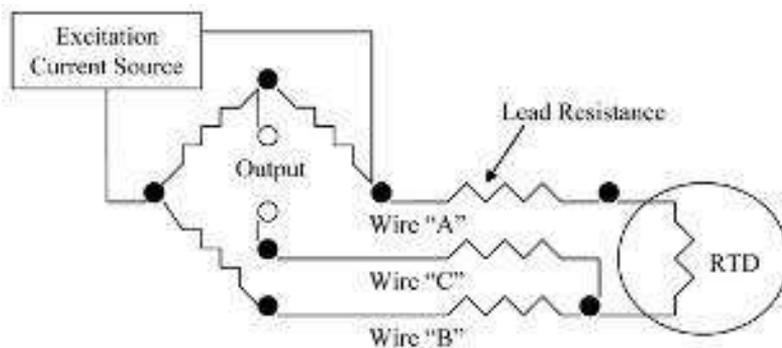


Gambar IV.3 RTD Thin-film

RTD memiliki 3 macam konfigurasi koneksi kabel yaitu: 2 wire, 3 wire, dan 4 wire RTD.

Sama halnya seperti platina, Tembaga (kabel) juga memiliki nilai resistansi. Resistansi sepanjang kabel tembaga ini dapat berdampak pada pengukuran resistansi yang dilakukan oleh instrumen alat ukur. RTD 2 kabel (2 wire) praktis tidak memiliki perhitungan resistansi yang terkait dengan kabel tembaga, sehingga mengurangi keakuratan pengukuran elemen sensor suhu RTD. Akibatnya RTD 2 wire umumnya hanya digunakan untuk kebutuhan pengukuran suhu perkiraan saja.

RTD 3 kabel (3 wire) adalah spesifikasi yang paling umum yang biasa digunakan pada aplikasi-aplikasi di industri. RTD 3 wire menggunakan rangkaian pengukuran jembatan wheatstone untuk mengkompensasi nilai resistansi kabel sebagaimana Gambar IV.4



Gambar IV.4 RTD 3 wire

Dalam konfigurasi RTD 3 wire ini, kabel “A” dan “B” harus memiliki kedekatan atau panjang yang sama. Panjang kabel ini sangat berarti karena tujuan dari jembatan wheatstone adalah untuk membuat impedansi dari kabel A dan B. Dan kabel C berfungsi sebagai pembawa arus yang sangat kecil.

RTD 4 kabel (4 wire) adalah konfigurasi yang paling akurat dari yang lainnya. Karena dalam RTD 4 kabel ini dapat sepenuhnya mengkompensasi resistansi dari kabel, tanpa perlu memberikan perhatian khusus pada panjang masing – masing kabel.

Cara kerja umum dari sensor RTD adalah Ketika suhu elemen RTD meningkat, maka resistansi elemen tersebut juga akan meningkat. Dengan kata lain, kenaikan suhu logam yang menjadi elemen resistor RTD berbanding lurus dengan resistansinya. elemen RTD biasanya ditentukan sesuai dengan resistansi mereka dalam ohm pada nol derajat celcius (0° C). Spesifikasi RTD yang paling umum adalah 100 Ω (RTD PT100), yang

berarti bahwa pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , elemen RTD harus menunjukkan nilai resistansi  $100\ \Omega$ .

Jenis sensor ini dapat diaplikasikan di beberapa alat seperti

Keuntungan dari jenis sensor ini adalah

1. Rentang pengukuran: RTD dapat mengukur suhu hingga  $1000^{\circ}\text{C}$ , akan tetapi sulit mendapatkan pengukuran yang akurat dari RTD dengan suhu di atas  $400^{\circ}\text{C}$ .
2. RTD mempunyai respon yang cepat terhadap perubahan suhu akan tetapi kemampuan termokopel dalam merespon suhu jauh lebih cepat.
3. RTD terpengaruh bila ada getaran atau guncangan, sehingga bila RTD diperlukan maka RTD thin-film biasa digunakan karena RTD thin-film lebih tahan terhadap getaran bila dibandingkan dengan RTD standar.
4. Hasil pengukuran yang akurat hingga  $0,1^{\circ}\text{C}$

### **IV.3 Sensor Thermocouple**

Thermocouple adalah salah satu jenis sensor suhu yang paling sering diaplikasikan ke beberapa jenis objek, hal ini dikarenakan rentan suhu pada jenis sensor ini luas, yang berkisar antara  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $2000^{\circ}\text{C}$ .

Thermocouple merupakan jenis sensor yang terdiri dari dua persimpangan logam yang berbeda, salah satu logam dari thermocouple dijaga di suhu yang tetap ( konstan ) yang berfungsi sebagai referensi simpangan sedangkan yang satunya dikenakan suhu yang akan dideteksi. Dengan adanya perbedaan suhu di dua persimpangan tersebut, rangkaian akan menghasilkan tegangan listrik tertentu yang nilainya sebanding dengan sumber suhu.

Tipe – tipe thermocouple dibagi menjadi 2 spesifikasi utama yaitu

1. Thermocouple berdasarkan probenya

a) Exposed Junction (Probe) thermocouple

thermocouple yang menggunakan tipe probe ini memiliki reponse yang paling cepat diantara tipe probe yang lain memiliki daya tahan yang cukup terbatas dikarenakan terkorosi, probe ini tidak memiliki pelindung atau bisa dikatakan di luar dari cover.

b) Insulated Junction (Probe) thermocouple

Tipe probe yang paling banyak digunakan Memiliki response yang cukup lambat dikarenakan probe dalam kondisi tertutup cover Memiliki lifetime yang cukup lama dikarenakan sensor tertutupi oleh cover

c) Junction reference to electrical ground (Probe) thermocouple

Probe tipe ini adalah probe yang memiliki grounding dengan cara menempelkan thermcouple dengan cover dengan cara dilas. Memiliki response yang lebih cepat dari insulated namun tidak lebih cepat dari tipe exposed. Memiliki lifetime yang tidak kalah lama dengan tipe insulated karena sama – sama tercover. Untuk lebih jelasnya kita bisa lihat gambar berikut.



Gambar IV.5 Thermocouple berdasarkan probenya

Thermocouple berdasarkan logam pembentuknya.

Berdasarkan jenis bahan penyusunnya thermocouple dibagi menjadi 9 yaitu

a) Tipe K (Nikel – Chromel / Nikel – Alloy)

Termokopel tipe K terdiri dari; nikel dan kromium pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif negatif (Extension Grade) terdiri dari nikel dan alumunium. Thermocouple jenis ini sering dipakai pada tujuan umum dikarenakan cenderung lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu 0 °C hingga +1100 °C

b) Tipe E (Nikel – Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))

Termokopel tipe E terdiri dari nikel dan kromium pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif negatif (Extension Grade) nikel dan tembaga. Thermocouple ini memiliki output yang besar (68  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) membuatnya cocok digunakan pada temperatur antara 0 °C hingga +800 °C. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.

c) Tipe J (Iron / Constantan)

Termokopel tipe J terdiri dari Besi pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif negatif (Extension Grade) sekitar nikel dan tembaga. Rentangnya terbatas (20 hingga +700 °C) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. thermocouple tipe J ini memiliki sensitivitas sekitar  $\sim 52 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

d) Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))

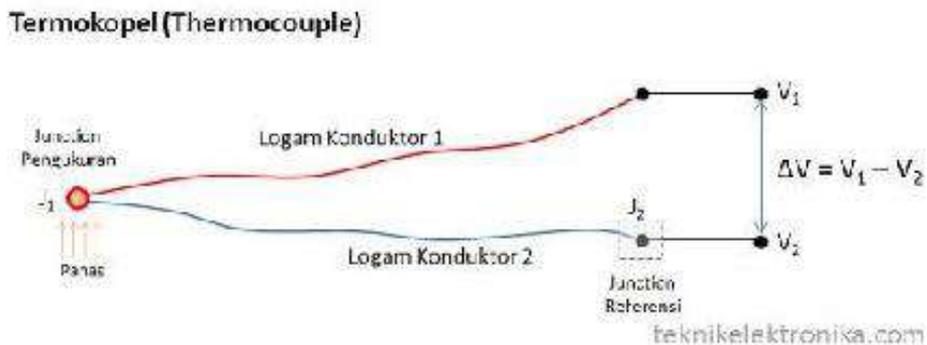
e) Termokopel tipe N terdiri dari nikel , 14 kromium dan 1.4 silikon pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif negatif (Extension Grade) nikel, silicon dan magnesium . Stabil dan tahanan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas

1200 °C. Sensitifitasnya sekitar 39  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  pada 900 °C, sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K.

- f) Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitifitasnya rendah (sekitar 10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ( $>300$  °C).
- g) Type B (Platinum-with 30% Rhodium /Platinum-with 6% Rhodium)
- h) Termokopel tipe B terdiri dari Rhodium dan platinum 30% pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif negatif (Extension Grade) platinum. Cocok mengukur suhu di atas 1800 °C. Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0 °C hingga 42 °C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50 °C.
- i) Type R (Rhodium with Platinum 13% / Platinum )
- j) Termokopel tipe R terdiri dari Rhodium dan platinum 13% pada sisi positif (Thermocouple Grade) dan sisi negatif negatif (Extension Grade) Platinum. Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.
- k) Type S (Platinum with 10% Rhodium/Platinum )
- l) Termokopel tipe S terdiri dari Rhodium dan platinum 10% pada sisi positif (Thermocouple Grade) dan sisi negatif negatif (Extension Grade) nikel dan tembaga. Cocok mengukur suhu di atas 1600 °C. sensitivitas rendah (10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43 °C).

- m) Type T (Copper / Constantan)
- n) Termokopel tipe T terdiri dari Tembaga dan pada sisi positif (Thermocouple Grade) sedangkan sisi negatif negatif (Extension Grade) Constanta. Cocok untuk pengukuran antara  $-200$  to  $350$  °C. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas  $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. Untuk lebih jelas mengenai Prinsip Kerja Termokopel, dapat dilihat pada Gambar IV.6



Gambar IV.6 Cara Kerja Thermocouple

Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau  $V_1 = V_2$ . Akan

tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau  $V_1 - V_2$ . Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar  $1 \mu V - 70 \mu V$  pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.

#### **IV.4 Piroelektrik**

Piroelektrisitas adalah kemampuan bahan-bahan tertentu untuk menghasilkan sebuah potensial listrik saat bahan-bahan itu dipanaskan atau didinginkan. (Yosman, 2012)

Beberapa material yang mempunyai simetri kristal rendah, diketahui bermuatan listrik apabila dipanaskan. Karena simetrinya rendah, letak pusat gravitasi muatan positif dan negatif di sel satuan terpisah hingga terbentuk momen dipol permanen. Selain itu, pengarahannya dipol individu menghasilkan momen dipol menyeluruh yang tidak sama dengan nol untuk kristal tersebut. Material piroelektrik digunakan sebagai detektor radiasi elektromagnetik untuk rentang yang lebar mulai dari ultraviolet hingga gelombang mikro; pada radiometer dan termometer yang peka terhadap perubahan temperatur yang kecil. Telah dikembangkan pula kamera TV piroelektrik untuk pembuatan citra inframerah dan sangat bermanfaat pula untuk penginderaan dalam asap. Piroelektrik semikonduktor ialah bahan dengan kekonduksian elektrik meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Di bawah suhu tertentu bahan tersebut tidak mengkonduksi. Dengan kata lain, suatu suhu tertentu diperlukan untuk elektron bergerak. Piro sensor memiliki beberapa keunggulan diantaranya : respon frekuensi dengan rentang yang panjang,

menggunakan temperatur ruang, respon temperatur yang cepat bila dibandingkan dengan sensor lainnya, dan kualitas optik yang tinggi.

Karakteristik Sensor Panas Pyroelectric Detektor Eltec E442-3 Sesuai Datasheet

D (cm Hz<sup>1/2</sup>/W, BW-1Hz) 2,2 x 10<sup>8</sup>

NEP (W/Hz<sup>1/2</sup>, BW-1Hz) 1.1 x 10<sup>-9</sup>

Responsivity (V/W) 3.7 x 10<sup>5</sup>

Common Mode Rejection (Min.) 5 / 1

Common Mode Rejection (Max.) 15 / 1

Noise (mV/Hz<sup>1/2</sup>) 0.36

Thermal Breakpoint 0.15 Hz

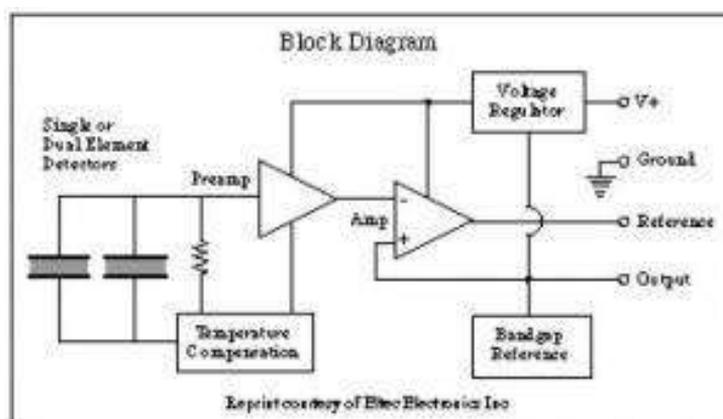
Electrical Breakpoint 5 Hz

Incident Power (Max.) 0.2 Watts

Power Supply Voltage 5-15 Vdc

Power Supply Current (Max.) 2.0 mA

Cara kerja Diagram Blok Prinsip Kerja Sensor Panas Pyroelectric Detektor Eltec E442-3



Gambar IV.7 Blok diagram prinsip kerja Pyroelectric Detector

Tegangan bias internal terdapat pada pin 3 Sensor Panas Pyroelectric Detektor Eltec E442-3. Tegangan ini digunakan untuk men-drive sebuah amplifier output internal. Tegangan offset direferensikan dari titik tersebut. Tegangan referensi tersebut memberikan low drift zero untuk kopling dc sebuah komparator atau konverter a/d. Arus maksimum untuk pin ini adalah 20  $\mu$ A. Perlu diketahui bahwa arus beban yang melebihi 20  $\mu$ A dapat mempengaruhi performa kerja dari Sensor Panas Pyroelectric Detektor Eltec E442-3.

## **IV.5 Inframerah**

Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga *order* dan memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm. Sinar infra merah merupakan cahaya yang tidak tampak. Jika dilihat dengan dengan spektroskop cahaya maka radiasi cahaya infra merah akan nampak pada spectrum elektromagnet dengan panjang gelombang di atas panjang gelombang cahaya merah. Dengan panjang gelombang ini maka cahaya infra merah ini akan tidak tampak oleh mata namun radiasi panas yang ditimbulkannya masih terasa/dideteksi. (Rafiuddin Syam, 2013)

### **Karakteristik sensor Inframerah**

- Tidak dapat dilihat oleh manusia
- Tidak dapat menembus materi yang tidak tembus pandang
- Dapat ditimbulkan oleh komponen yang menghasilkan panas
- Panjang gelombang pada inframerah memiliki hubungan yang berlawanan atau berbanding terbalik dengan suhu. Ketika suhu mengalami kenaikan, maka panjang gelombang mengalami penurunan.

Infra merah dapat dibedakan menjadi tiga daerah yakni:

- Near Infra Merah (Inframerah jarak dekat)  $0.75 - 1.5 \mu\text{m}$
- Mid Infra Merah (Inframerah jarak menengah)  $1.50 - 10 \mu\text{m}$
- Far Infra Merah (Inframerah jarak jauh)  $10 - 100 \mu\text{m}$

Prinsip kerja dari infrared untuk melihat benda dengan memanfaatkan detektor infra red setiap benda yang dipancarkan infra red akan memantulkan dan atau menyerap infra red sehingga detektor menangkap panjang gelombang yang berbeda sesuai suhu yang dikeluarkan benda. Karena sumber utama sinar infra red merupakan radiasi termal ataupun radiasi panas, setiap benda memiliki suhu panas tertentu bahkan yang kita kira tidak cukup panas untuk meradiasikan cahaya tampak dapat mengeluarkan energi dan terlihat pada infrared, semakin panas sesuatu semakin dapat dia meradiasikan radiasi infrared.

Komunikasi Infra Merah dilakukan dengan menggunakan dioda infra merah sebagai pemancar dan modul penerima infra merah sebagai penerimanya. Untuk jarak yang cukup jauh, kurang lebih tiga sampai lima meter, pancaran data infra merah harus dimodulasikan terlebih dahulu untuk menghindari kerusakan data akibat noise.

## **IV.6 Termometer**

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu benda dengan tepat dan menyatakannya dengan angka.

Sebuah termometer biasanya terdiri dari sebuah pipa kaca berongga yang berisi zat cair (alkohol atau air raksa), dan bagian atas cairan adalah ruang hampa udara.

Termometer dibuat berdasarkan prinsip bahwa volume zat cair akan berubah apabila dipanaskan atau didinginkan. Volume zat cair akan bertambah apabila dipanaskan sedangkan apabila didinginkan akan berkurang. Naik atau turunnya cairan tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan suhu suatu benda. (Planck, 2013)

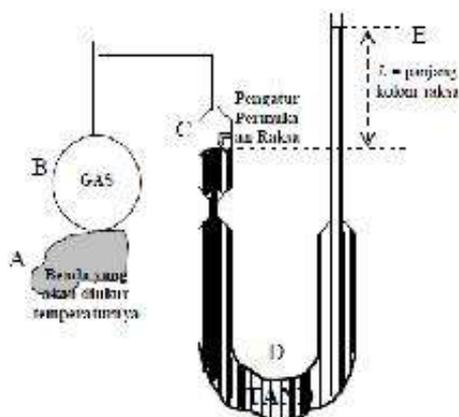
Agar termometer bisa digunakan untuk mengukur suhu maka perlu ditetapkan skala suhu. Terdapat 2 skala suhu yang sering digunakan, antara lain skala Celcius dan skala Fahrenheit. Skala yang paling banyak digunakan saat ini adalah skala Celcius (nama lain skala Celcius adalah skala Centigrade. Centigrade = seratus langkah). Skala Fahrenheit paling banyak digunakan di Amerika Serikat. Skala suhu yang cukup penting dalam bidang sains adalah skala mutlak alias skala Kelvin. Titik tetap skala Celcius dan skala Fahrenheit menggunakan titik beku dan titik didih air. Titik beku suatu zat merupakan temperatur di mana wujud padat dan wujud cair berada dalam keseimbangan (tidak ada perubahan wujud zat). Sebaliknya, titik didih suatu zat merupakan temperatur dimana wujud cair dan wujud gas berada dalam keseimbangan. Perlu diketahui bahwa titik beku dan titik didih selalu berubah terhadap tekanan udara., karenanya tekanan perlu ditetapkan terlebih dahulu. Biasanya kita menggunakan tekanan standar, yakni 1 atm (satu atmosfer).

Jenis-jenis termometer yang lazim digunakan antara lain dapat dijelaskan sebagai berikut.

a) Termometer Gas Volume Tetap

Termometer ini dibuat berdasarkan pada perubahan tekanan gas karena adanya perubahan temperatur. Volume gas dapat membesar karena kenaikan temperatur yang diikuti oleh penurunan tekanan gas dan dapat mengecil karena penurunan temperatur yang diikuti oleh kenaikan tekanan gas. Jadi, pada termometer gas volume tetap, *thermometric*

*property*-nya adalah tekanan gas ( $p$ ) yang diwakili oleh perubahan panjang kolom air raksa (raksa). Adapun bentuk skematis termometer gas volume tetap seperti dilukiskan pada gambar berikut. (Hamid, 2007)



**Gambar 1.7** (sumber dari *Macam macam termometer book*)

Apabila benda yang akan diukur temperaturnya (A) disentuhkan pada bola B, maka gas dalam bola B akan memuai dan mendesak air raksa dalam pipa C ke bawah dan dalam pipa E ke atas. Pipa C dan pipa E dihubungkan dengan pipa karet D yang lentur dan dapat ditarik ke bawah atau ke atas.

Apabila gas bola B memuai dan mendesak air raksa dalam pipa C, maka volume gas bertambah. Agar volume gas tetap seperti semula, yaitu pada pengatur permukaan raksa, maka pipa karet D dapat dinaikkan atau diturunkan, sehingga volume gas pada bola B dapat dijaga tetap.

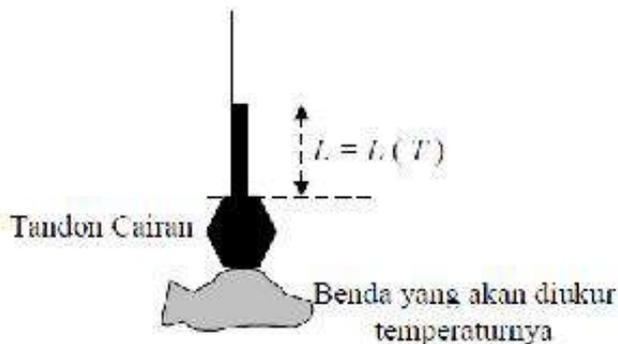
#### b) Termometer Gas Tekanan Tetap

Termometer gas tekanan tetap dibuat berdasarkan pada perubahan volume gas yang berubah karena adanya perubahan temperatur. Pada proses volume tetap, kenaikan temperatur mengakibatkan tekanan gas

naik dan sebaliknya penurunan temperatur akan mengakibatkan tekanan gas menurun. Pada proses tekanan tetap, volume gas akan bertambah jika temperatur gas naik dan sebaliknya volume gas akan mengecil jika temperatur gas turun. Jadi, pada termometer gas tekanan tetap, *thermometric property*-nya adalah volume gas ( $V$ ) yang diwakili oleh panjang kolom air raksa.

c) Termometer Cairan

Termometer cairan dibuat berdasarkan pada perubahan volume cairan karena adanya perubahan temperatur. Namun karena luas penampang kolom cairan A dipandang tetap, maka perubahan volume cairan dapat diwakili oleh perubahan tinggi kolom cairannya. Ini berarti *Thermometric Property*-nya adalah panjang atau tinggi kolom cairan. Adapun skematis termometer cairan seperti gambar berikut.



Gambar IV.8 Pengukuran dengan termometer

Pada dasarnya, temperatur untuk termometer cairan seperti gambar di atas harga temperaturnya diukur dengan perubahan volume cairan dengan persamaan :

$$T = f(V)$$

d) Termometer Dengan Bahan Zat Padat

#### a. Termometer Bimetal

Termometer bimetal memanfaatkan logam untuk menunjukkan adanya perubahan suhu dengan prinsip logam akan memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan. Kepala bimetal dibentuk spiral dan tipis, sedangkan ujung spiral bimetal ditahan sehingga tidak bergerak dan ujung lainnya menempel pada pinggir penunjuk. Semakin besar suhu, keping bimetal semakin melengkung dan menyebabkan jarum penunjuk bergerak ke kanan, ke arah skala yang lebih besar. Termometer bimetal biasanya terdapat di mobil.

Fungsi dari termometer bimetal adalah digunakan untuk menunjukkan adanya perubahan suhu dengan prinsip logam akan memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan.

Cara menggunakan termometer bimetal yaitu Keping Bimetal sengaja dibuat memiliki dua buah keping logam karena kepingan ini dapat melengkung jika terjadi perubahan suhu. Prinsipnya, apabila suhu berubah menjadi tinggi, keping bimetal akan melengkung ke arah logam yang koefisien muainya lebih rendah, sedangkan jika suhu menjadi rendah, keping bimetal akan melengkung ke arah logam yang koefisien muainya lebih tinggi. Logam dengan koefisien muai lebih besar (tinggi) akan lebih cepat memanjang sehingga kepingan akan membengkok (melengkung) sebab logam yang satunya lagi tidak ikut memanjang. Biasanya keping bimetal ini terbuat dari logam yang koefisien muainya jauh berbeda, seperti besi dan tembaga.

Pada termometer, keping bimetal dapat difungsikan sebagai penunjuk arah karena jika kepingan menerima rangsangan berupa suhu, maka keping akan langsung melengkung karena pemuaian panjang pada logam.

Kelebihan Termometer Bimetal :

- a) Tahan dari guncangan
- b) Tidak mudah terbakar
- c) Harganya relatif murah
- d) Tahan lama, awet dan mudah dikalibrasikan
- e) Dapat digunakan untuk termograf

**Kelemahan Termometer Bimetal :**

- a) Memerlukan kalibrasi sering untuk menjaga akurasi Respon terhadap perubahan suhu lambat
- b) Kurang akurat

**b. Termometer Termokopel**

Pengukuran suhu dengan ketepatan tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan termokopel, di mana suatu tegangan listrik dihasilkan saat dua kawat berbahan logam yang berbeda disambungkan untuk membentuk sebuah loop. Kedua persambungan tersebut memiliki suhu yang berbeda.

Cara kerja termometer termokopel yaitu pemuaian yang berbeda antara dua logam yang kedua ujungnya disentuhakan akan menghasilkan gaya gerak listrik (ggl). Besar ggl ini yang dimanfaatkan oleh termokopel untuk menunjukkan suhu.

Termometer termokopel berfungsi untuk membentuk rangkaian tertutup dan kecepatan dan keseimbangan suhu.

**Kelebihan Termokopel**

- a) Layar mudah dibaca tidak mudah keruh, skala terlihat jelas
- b) Tahan lama, tidak mudah rusak
- c) Respon terhadap perubahan suhu sangat cepat diterima
- d) Lebih akurat

- e) Dapat mengukur variasi suhu lebih dari jarak kurang dari 1 cm\
- f) Terletak pada kecepatan mencapai keseimbangan suhu dengan sistem yang akan diukur.
- g) Jangkauan suhunya besar (mulai dari  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ukuran termometer kecil, dapat mengukur suhu dnegan cepat dan dapat dihubungkan ke rangkaian lain atau komputer.

#### Kelemahan Termokopel

- a) Hanya mengukur perbedaan suhu
- b) Sulit untuk mengkalibrasi
- c) Perlengkapan tambahan cenderung mahal
- d) Kurang teliti jika dibandingkan dengan termometer gas volume konstan

#### c. Termometer Platina

Prinsip termometer ini adalah ketika suhu naik, hambatan listrik platina naik. Hambatan listrik diukur dengan teliti oleh sebuah rangkaian jembatan.

#### Keuntungan Termometer Platina

- a) Jangkauan suhunya lebar (  $-250^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $1500^{\circ}\text{C}$  ), teliti dan peka.Kerugian Termometer Platina
- b) Suhu tidak dibaca langsung. Pembacaannya lambat, sehingga tidak sesuai untuk mengukur suhu yang berubah-ubah.

## REFERENSI

Bishop, Owen.2004.Dasar-Dasar Elektronika.Jakarta: Erlangga.

Danial T. Nusi, V. R. (2013). PERBANDINGAN SUHU TUBUH BERDASARKAN PENGUKURAN MENGGUNAKAN TERMOMETER AIR RAKSA DAN TERMOMETER DIGITAL

PADA PENDERITA DEMAM DI RUMAH SAKIT UMUM KANDOU  
MANADO. PAAI Jurnal e-Biomedik , 1-3.

Hamid, A. A. (2007). Kalor dan Termodinamika. Yogyakarta: Universitas  
Negeri Yogyakarta.

Iwan Setiawan, S. M. (2009). Buku Ajar. Dalam Sensor dan Transduser.  
Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Pratama, E. (2008). Studi Efek Fotovoltaik dan Piroelektrik  
Ba<sub>0,75</sub>Sr<sub>0,25</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) yang Dididat Galium (BGST) di atas  
Substrat Si (100) Tipe-P. IPB Repository .

Rafiuddin Syam, P. (2013). Dasar Dasar Teknik Sensor. Makassar: Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin.

Sandi, A. (2013, Mei 20). Termometer. Macam macam termometer .

## PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS

### V.1 Pengukuran Tegangan

Tegangan atau voltase merupakan perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian yang berfungsi memindahkan atau menggerakkan muatan listrik dari satu ke tempat lainnya. Tegangan juga didapatkan dari besarnya daya dibagi arus. Tegangan dibagi menjadi dua jenis yaitu tegangan AC dan DC. Berikut adalah rumusan dasar untuk menghitung tegangan:

—

Keterangan :

V : Tegangan Listrik ( volt )

P : Daya ( Watt )

I : Arus ( Ampere )

R : Resistansi ( Ohm )

#### Contoh A.1

Sebuah rangkaian listrik memiliki hambatan 100 Ohm dengan Arus listrik yang mengalir sebesar 10 Ampere. Berapakah tegangan yang terdapat dalam rangkaian tersebut ?

Penyelesaian:

$$V = I \times R$$

$$V = 10 \text{ ampere} \times 1,2 \text{ Ohm}$$

$$V = 12 \text{ volt}$$

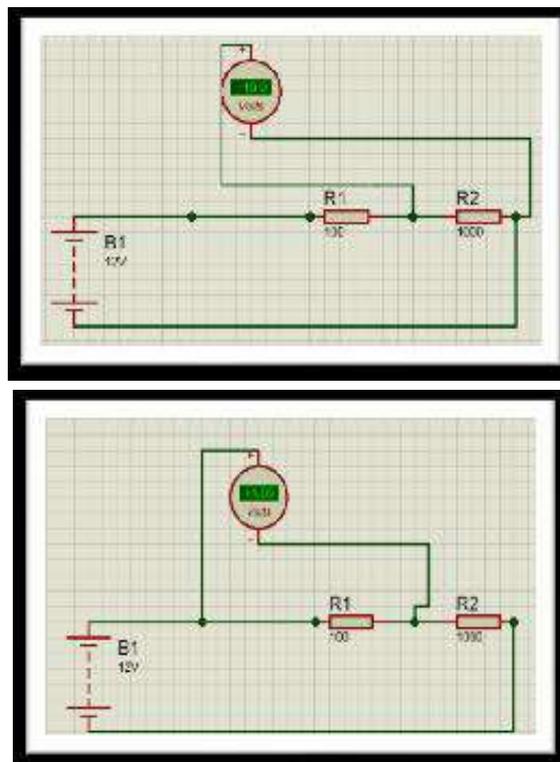
Sehingga tegangan yang terdapat dalam rangkaian tersebut adalah 12 volt.

Selain menggunakan rumus untuk menggunakan rumus untuk mencari tegangan dari suatu rangkaian kita bisa menggunakan alat yaitu volt meter maupun oscilloscope. Pada bab ini akan dibahas bagaimana mengukur tegangan dengan menggunakan voltmeter.

Dalam mengukur tegangan titik yang kita ukur adalah harus paralel. Dalam rangkaian seri tegangan di tiap titik akan berbeda tergantung dari besarnya hambatan tiap titik yang di ukur. Namun untuk paralel tegangannya akan sama.

### Contoh A.2

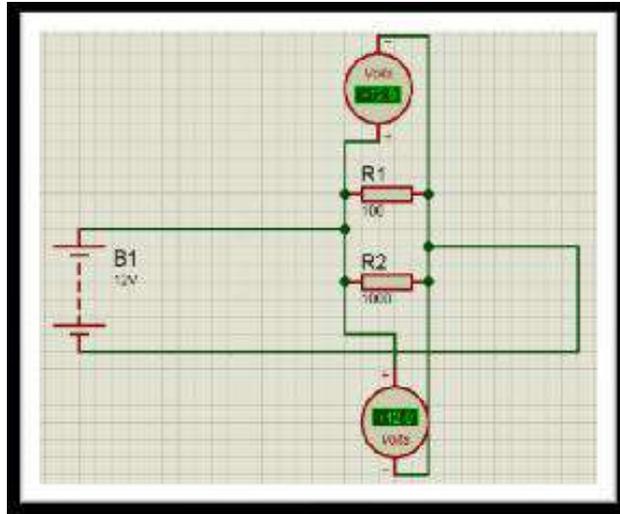
Sebuah rangkaian dengan tegangan masukan 12 v kemudian di beri hambatan masing masing  $100 \Omega$  dan  $1000\Omega$  dirangkai seri. Tegangan yang berada diantara R1 berbeda dengan yang melewati R



Gambar V.1 Contoh A.2 Pengukuran Tegangan

### Contoh A.3

Sebuah rangkaian dengan tegangan masukan 12 v kemudian di beri hambatan masing masing  $100 \Omega$  dan  $1000\Omega$  dirangkai paralel. Tegangan yang berada diantara R1 sama dengan yang melewati R2.



Gambar V.2 Titik pengukuran R1 dan R2

## V.2 Pengukuran Arus

Arus merupakan banyaknya muatan listrik yang mengalir setiap satuan waktu. Satuan arus listrik adalah Ampere.

—  
  
—

Keterangan

I = kuat arus listrik ( Ampere )

Q = muatan listrik ( C )

t = waktu ( sekon )

n = jumlah electron

e =

Suatu benda dikatakan bermuatan apabila kekurangan atau kelebihan electron. Benda yang kelebihan electron akan bermuatan negative sedangkan benda yang kekurangan electron akan bermuatan positif. Jika terdapat dua benda yang berbeda muatan maka aliran positif akan mengalir dari benda yang lebih bermuatan positif ke benda yang satunya. Aliran muatan positif disebut muatan listrik. Perbedaan muatan listrik inilah yang disebut dengan perbedaan potensial. Namun yang ada adalah aliran elektron dimana muatan positif tidak bergerak, aliran electron bergerak dari yang lebih negative ke positif maka dari itu arah arus listrik selalu berlawanan dengan arah aliran electron.

### Contoh soal B.1

Berapakah kuat arus listrik jika muatan 12 C mengalir pada kawat konduktor selama 6 s.

Penyelesaian :

$$I = Q/t$$

$$= 12 \text{ C} / 6\text{s}$$

$$= 2 \text{ A}$$

Arus yang mengalir dari kutub positif ke negatif suatu rangkaian disebut rangkaian listrik searah. Baterai merupakan sumber listrik arus searah. Baterai mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Alat yang dapat mengubah suatu bentuk energy lain disebut GGL ( Sumber Gaya Gerak Listrik ). GGL merupakan beda potensial antar terminal tegangan ketika tidak ada arus yang mengalir, GGL memiliki symbol E. Baterai memiliki hambatan dalam saat baterai tidak mengalirkan arus

maka tegangan antar terminal sama dengan GGLnya ( $V = E$ ). Akan tetapi ketika baterai mengeluarkan arus tegangan terminal akan turun sebesar kuat arus  $I r$  ( $V = E - I r$ ). Tegangan terminal baterai saat mengeluarkan arus disebut tegangan jepit.

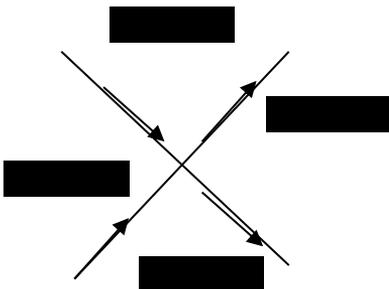
Contoh soal B.2

Sebuah baterai dengan GGL 12 v memiliki hambatan dalam  $2 \Omega$  tentukan tegangan jepit saat baterai mengeluarkan arus 3 A ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 V &= E - I r \\
 &= 12 \text{ v} - (3)(2) \\
 &= 6 \text{ v}
 \end{aligned}$$

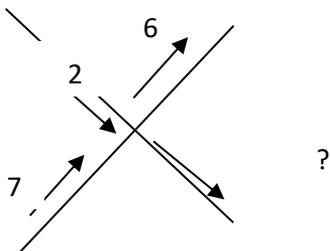
Dalam arus listrik kita mengenal Hukum Kirchoff



$I \text{ masuk} = I \text{ keluar}$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

Contoh soal B.3



Hitung arus di (?)

I masuk = I keluar

$7A + 2A = 6A + ?$

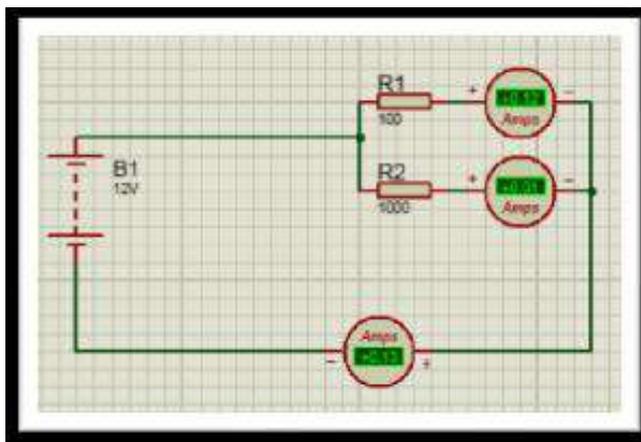
$9A - 6A = ?$

$3A = ?$

Alat yang digunakan untuk mengukur arus listrik disebut ampere meter kita juga dapat menggunakan multimeter. Berikut adalah cara menghitung arus dengan menggunakan multimeter.

#### Contoh B.4

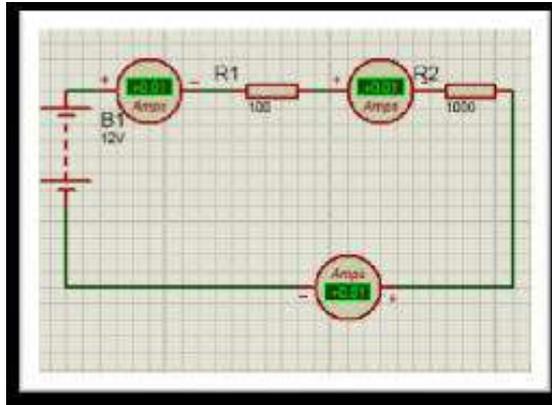
Sebuah rangkaian dengan tegangan masukan 12 v kemudian di beri hambatan masing masing  $100 \Omega$  dan  $1000\Omega$  dirangkai paralel. Maka arus yang ada di titik R1 berbeda dengan titik R2.



Gambar V.3 Titik pengukuran arus pada rangkaian paralel

#### Contoh B.4

Sebuah rangkaian dengan tegangan masukan 12 v kemudian di beri hambatan masing masing  $100 \Omega$  dan  $1000\Omega$  dirangkai seri . Maka arus yang ada di titik R1 sama dengan titik R2.



Gambar V.4 Titik pengukuran arus pada rangkaian seri

### V.3 Mengukur Daya

Daya merupakan besarnya energy listrik yang dihasilkan setiap satuan waktu. Satuan daya adalah Watt atau J/s.

— —

Dimana :

$P$  = daya listrik ( watt )

$W$  = energy listrik ( joule ) t

$$= V I t$$

=

= —

t = waktu ( s )

#### Contoh soal C.1

Sebuah lampu memiliki tegangan 210 v dengan hambatan dalam  $1k\Omega$   
tentukan daya lampu ?

Penyelesaian :

---

$$P = 44100 / 1000$$

$$P = 4.1 \text{ Watt}$$

Alat penghitung daya dinamakan watt meter. Penggunaannya dan cara penguurannya hamper sama dengan pengukuran tegangan dan arus.



Gambar V.5 Watt meter

#### **V.4 Mengukur Energi**

Energi adalah salah satu kuantitas fisik yang paling penting di setiap cabang ilmu pengetahuan dan teknik dan terutama di bidang teknik elektro. Proses pertukaran energi mengarah ke studi jaringan listrik darisudut pandang fisik dan memungkinkan pengetahuan mendalam tentang transfer daya dalam dunia listrik dan antara listrik dan bentuk energi lainnya. Definisi energi dan kekuatan mewakili titik awal untuk setiap studi yang berurutan.

1. Energi adalah jumlah pekerjaan yang mampu dilakukan oleh sistem.
2. Kekuasaan adalah tingkat waktu melakukan pekerjaan.

Energi dapat didefinisikan secara matematis sebagai integral yang pasti dari kekuasaan selama interval waktu tertentu  $\Delta t$ . Daya yang tersedia di bagian dua terminal dari rangkaian listrik diberikan oleh produk dari

tegangan di terminal dan arus yang mengalir melalui bagian itu sendiri ( $p = vi$ ). Energi listrik ( $E$ )

mengalir melalui bagian yang sama didefinisikan oleh integral dari kekuatan atas interval observasi

:

$$E(\Delta t) = \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} p dt$$

Untuk alasan ini, pengukuran energi adalah pengukuran dinamis, yang artinya bervariasi dengan waktu. Itu unit pengukuran energi adalah Joule (J); tetapi untuk energi listrik, Watthour (Wh) adalah yang paling umum.

Energi elektrostatik didefinisikan sebagai produk muatan listrik dan perbedaan listrikpotensi. Listrik dihasilkan dari berbagai bentuk energi (termal, hidrolik, nuklir, kimia, dll.); setelah transfer listrik dan proses distribusi, itu diubah menjadi bentuk energi lain. Fitur utama energi listrik adalah kesederhanaan yang dengannya seseorang dapat mentransfernya jarak jauh, mengontrol distribusi, dan mengukur konsumsi energi.

## REFERENSI

Shen Chi Liang dan Kong Au Jin. 1987. *Aplikasi Elektromagnetik Edisi ke-3*  
: Iwa Garniwa. Jakarta: Erlangga.

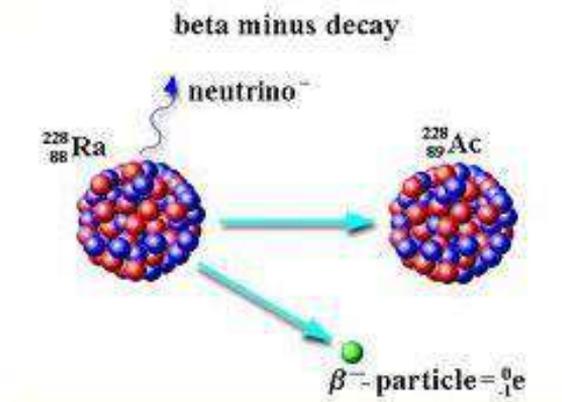
Cooper D William. 1999. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran Edisi ke-2*: Sahabat Pakpaham. Jakarta: Erlangga.

Hayt William.1987.*Elektromagnetika Teknologi Edisi ke-4* : Houw  
Liong.Jakarta. Erlangga.

Energy Measurement Arnaldo *Brandolini and Alessandro Gandelli*

## PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS

Radioaktivitas didefinisikan sebagai proses di mana inti atom yang tidak stabil kehilangan energi dengan memancarkan radiasi dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik. Radiasi ini mampu mengionisasi atom dan molekul di sepanjang jalurnya. Radiasi ini dapat menyebabkan kanker dan kematian. Oleh karena itu radiasi ini adalah masalah kesehatan dan keselamatan. Untuk memahami radioaktivitas kita harus dapat memahami konsep-konsep dasar tertentu seperti atom dan stabilitas atom.



Gambar VI.1 Atom Radioaktif

### VI.1 Sejarah

Radioaktivitas merupakan fenomena alam yang ditemukan lebih dari seabad yang lalu, pada tahun 1896, oleh fisikawan Perancis Henri Becquerel. Dia sedang berusaha untuk mencari tahu apakah sinar yang dipancarkan oleh garam uranium fluoresen sama dengan sinar-X yang ditemukan pada tahun 1895 oleh ahli fisika Jerman Wilhelm Roentgen. Dia berpikir bahwa garam uranium, setelah tereksitasi oleh cahaya,

memancarkan sinar-X ini. Bayangkan betapa terkejutnya ketika, di Paris pada Maret 1896, ia menemukan bahwa film fotografi telah terpapar tanpa paparan sinar matahari! Dia menyimpulkan bahwa uranium memancarkan radiasi yang tak terlihat, berbeda dari sinar-X, secara spontan dan tanpa henti. Fenomena yang ia temukan dinamai aktivitas radio (dari jari-jari Latin, yang berarti sinar). Setelah karya Henri Becquerel, pada tahun 1898 Pierre dan Marie Curie mengisolasi polonium dan radium, unsur radioaktif yang tidak dikenal hadir dalam bijih uranium.

## VI.2 Unit Radioaktivitas

Radioaktivitas suatu zat dapat diukur menggunakan unit yang berbeda, yaitu:

- Becquerel adalah satuan SI untuk pengukuran radioaktivitas. Ini didefinisikan sebagai jumlah disintegrasi per detik ( dps . )

$$1 \text{ Becquerel ( Bq )} = 1 \text{ dps}$$

$$\text{Terra Bq} = 10^{12} \text{ Bq}$$

$$\text{Giga Bq} = 10^9 \text{ Bq}$$

$$\text{Mega Bq} = 10^6 \text{ Bq}$$

- Curie adalah satuan yang umum digunakan. Ini didefinisikan sebagai kuantitas bahan radioaktif yang memiliki disintegrasi nuklir mirip dengan 1g radium yaitu

$$3,7 \times 10^{10} \text{ dps (atau } 37 \text{ Giga Bq )}$$

$$1 \text{ Curie ( Ci )} = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

$$\text{Mili Ci} = \text{Ci} \times 10^{-3}$$

$$\text{Mikro Ci} = \text{Ci} \times 10^{-6}$$

- Aktivitas spesifik suatu zat didefinisikan sebagai aktivitas per satuan berat atau volume (misalnya, Bq / gm atau B / l).
- Hitungan per menit ( cpm ) adalah disintegrasi yang terdeteksi oleh penghitung radiasi.

Terdapat juga empat unit yang berbeda tetapi saling terkait untuk mengukur radioaktivitas, paparan, dosis yang diserap, dan dosis yang setara. Ini dapat diingat oleh mnemonik **R-E-A-D**, sebagai berikut, dengan unit umum (Inggris, misalnya, Ci ) dan internasional (metrik, misalnya, Bq ) yang digunakan:

**R**adioactivity mengacu pada jumlah radiasi pengion yang dikeluarkan oleh suatu material. Apakah itu memancarkan partikel alfa atau beta, sinar gamma, x-rays, atau neutron, kuantitas bahan radioaktif dinyatakan dalam hal radioaktivitas (atau hanya aktivitasnya), yang mewakili berapa banyak atom dalam peluruhan material dalam jangka waktu tertentu. Satuan ukuran untuk radioaktivitas adalah curie ( Ci ) dan becquerel ( Bq ).

**E**xposure menjelaskan jumlah radiasi yang dilepaskan melalui udara. Banyak monitor radiasi mengukur paparan. Unit untuk eksposur adalah roentgen ( R ) dan coulomb / kilogram ( C / kg).

**D**osis absorbed menggambarkan jumlah radiasi yang diserap oleh suatu benda atau orang (yaitu, jumlah energi yang disimpan sumber-sumber radioaktif dalam bahan-bahan yang dilaluinya). Unit untuk dosis yang diserap adalah radiasi yang diserap dosis ( rad ) dan gray ( Gy ).

**D**ose equivalent (atau dosis efektif) mengkombinasikan jumlah radiasi yang diserap dan efek medis dari jenis radiasi tersebut. Untuk radiasi beta dan gamma, dosis setara sama dengan dosis yang diserap. Sebaliknya, dosis setara lebih besar dari dosis yang diserap untuk radiasi alfa dan neutron, karena jenis radiasi ini lebih merusak tubuh manusia. Unit untuk setara dosis adalah manusia setara roentgen ( rem ) dan sievert ( Sv ), dan setara

dosis biologis biasanya diukur dalam 1/1000 rem (dikenal sebagai millirem atau mrem ).

Praktisnya, 1 R (paparan) = 1 rad (dosis yang diserap) = 1 rem atau 1000 mrem (setara dosis).

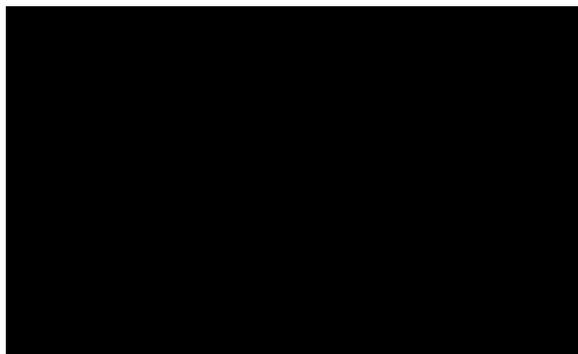
### **VI.3 Pengukuran Radioaktivitas**

Untuk mengukur radioaktivitas, tiga jenis perangkat tersedia ( Farooq , 2010) :

1. Penghitung tabung berisi gas, misalnya Penghitung Geiger Muller
2. Penghitung Kilau
3. Detektor Semi-konduktor

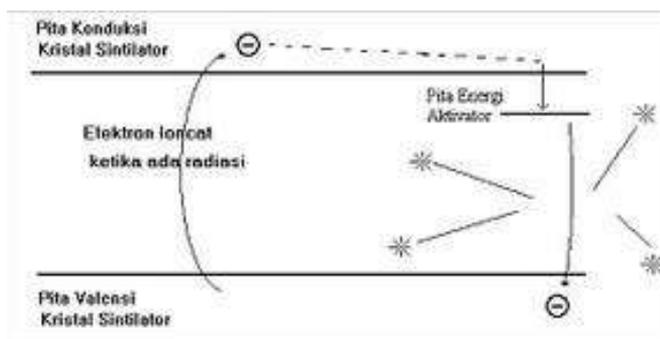
Penjelasannya adalah sebagai berikut.

1. The Geiger Counter : Perbedaan potensial tepat di bawah yang diperlukan untuk menghasilkan debit diterapkan ke tabung (1000 V). Setiap atom gas yang terkena sinar-entering yang memasuki tabung terionisasi, menyebabkan keluarnya cairan. Pembuangan dipantau dan dihitung oleh sirkuit elektronik dan hasilnya dilaporkan sebagai hitungan / detik atau Rontgens / jam atau mR / jam.



Gambar VI.2 Detektor isian gas

2. Penghitung Kilau: Kristal zat tertentu misalnya cesium fluoride, cadmium tungstate, anthracine dan sodium iodide memancarkan kilatan kecil cahaya ketika dihujani oleh sinar- $\gamma$  Fosfor yang paling umum digunakan dalam penghitung kilau adalah NaI dengan kuantitas thallium yang ditambahkan. Dalam instrumen, kristal diposisikan terhadap fotosel yang pada gilirannya terkait dengan unit perekaman. Jumlah kilatan yang dihasilkan per satuan waktu sebanding dengan intensitas radiasi. Penghitung scintillation portabel kecil tersedia.

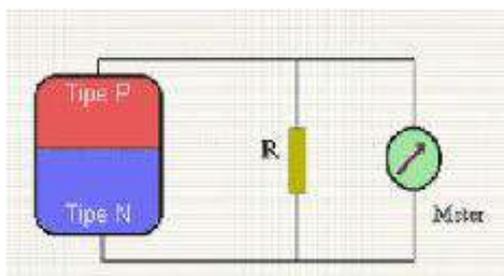


Gambar VI.3 Detektor Sintitlasi

3. Detektor Semi-Konduktor: Semi-konduktor adalah zat yang konduktivitas listriknya antara logam dan isolator. Perlu dicatat bahwa semikonduktor Ge (Li) memakan detektor sinar-excellent yang sangat baik dengan resolusi sepuluh kali lebih tinggi daripada NaI (Th) scintillometers. Kerugian utama dari ini adalah efisiensi yang lebih rendah untuk x-rays energi yang lebih tinggi. Selain itu, semi-konduktor Ge (Li) perlu didinginkan oleh nitrogen cair dan karenanya tidak praktis dan tidak cocok sebagai instrumen lapangan.

Selain di atas ada instrumen yang dikenal sebagai  $\gamma$ -ray spektrometer, yang dapat membedakan puncak energi yang berbeda dan karenanya

membuatnya mungkin untuk mengidentifikasi sumber radiasi. Penghitung Geiger akan mencatat "hitungan per menit", tetapi ini tidak memberi tahu kita apa sebenarnya zat radioaktif itu, hanya apa yang menjangkau detektor. Ini juga tidak memberitahu kita tentang jumlah kerusakan yang terjadi pada Anda. Dengan demikian kita memerlukan beberapa unit berbeda untuk mengukur radioaktivitas.



Gambar VI.4 Prinsip dasar pengukuran radiasi

- Aktivitas sumber diukur dalam Becquerels (Bq),  
Satu Becquerel adalah satu peluruhan per detik.
- Jumlah radiasi yang diserap sel diukur dalam gray (Gy),  
Satu gray adalah satu Joule energi yang diserap oleh 1kg tubuh Anda. Ini adalah dosis Anda menerima.
- Untuk mengukur kerusakan yang dilakukan pada Anda, kita harus ingat bahwa partikel  $\alpha$  berion sangat kuat, dan menyebabkan 20 kali lebih banyak kerusakan sel daripada partikel  $\beta$  dosis yang sama,  $\gamma$  rays atau Sinar X. Kami mengukur "dosis setara" dalam sieverts (Sv).
- Dosis 1 gray partikel-, sinar-or atau sinar-X akan memberi Anda dosis setara dengan 1 sievert. Dosis 1 partikel abu-abu akan memberi Anda

dosis setara dengan 20 sievert Sievert adalah unit yang cukup besar, jadi kami biasanya bekerja di millisieverts (mSv) atau microsieverts ( $\mu\text{Sv}$ ).

#### **VI.4 Unit Pengukuran Radioaktivitas:**

Unit pengukuran radioaktivitas adalah Curie (Ci). Satu Curie adalah jumlah radiasi yang dihasilkan oleh 1 gram radium ( $\text{Ra}226$ ). Ini setara dengan peluruhan  $2,7 \times 10^{11}$  per kedua. Untuk pengukuran praktis, unit ini terlalu besar dan oleh karena itu telah dilakukan digantikan oleh unit turunan SI, becquerel (Bq), yang setara dengan satu peluruhan per kedua (karena itu  $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$  dan 1 curie adalah 37 gigabecquerels).

Seperti yang diharapkan, becquerel sebenarnya adalah bahan radioaktif dalam jumlah kecil, jadi dalam prakteknya biasanya ada sejumlah gigabecquerel. Jumlah radioaktivitas biasanya diperoleh dengan mengukur radiasi yang dihasilkan atau dengan mengukur jumlah bahan radioaktif (dalam gram, katakanlah) dan menggunakan sifat yang dikenal.

Dalam massa tetap bahan radioaktif, jumlah becquerels berubah seiring waktu. Dalam beberapa keadaan, sejumlah bahan radioaktif diberikan setelah penyesuaian untuk beberapa periode waktu. Sebagai contoh, seseorang mungkin mengutip angka yang disesuaikan selama sepuluh hari, yaitu jumlah radioaktivitas yang akan tetap ada setelah sepuluh hari. Ini mengesampingkan isotop yang berumur pendek.

#### **VI.5 Pengukuran Gelombang Mikro**

Gelombang mikro atau disebut mikro gelombang adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi tinggi. Frekuensi tinggi atau disebut gelombang sentimeter karena panjang gelombangnya berkisar dari satu sampai sepuluh sentimeter. Frekuensi tinggi pada gelombang mikro

mengacu pada sinyal AC yang memiliki frekuensi antara 0.3 dan 300 GHz. Untuk menemukan panjang gelombang sinyal microwave, akan lebih mudah menggunakan rumus berikut:

$$\lambda \text{ (in cm)} = \frac{30}{f \text{ (GHz)}}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa sinyal di atas 30 GHz memiliki panjang gelombang pada urutan milimeter, dan disebut gelombang milimeter.

Penggunaan gelombang mikro dalam di antaranya,

### 1. Pemanas

Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak lepas dari penggunaan microwave, yang And frekuensinya sekitar 2,45 GHz. Selain itu juga dimanfaatkan dalam bidang industri, dalam bidang industri penggunaan microwave lebih banyak keuntungannya karena pemanasan yang dihasilkan lebih merata, ini disebabkan karena bukan untuk mentransfer panas dari luar tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut

### 2. Komunikasi

Di era modern ini kita tidak bisa lepas dari yang namanya internet setiap saat setiap waktu semuanya harus terhubung dengan internet. Internet sendiri memiliki keuntungan lebih karena lebih banyak pecahan bandwidth tersedia. Sebagai contoh, saluran TV analog membutuhkan 6 MHz. Pada 600 MHz, bandwidth 1% hanya dapat menampung satu saluran TV, sedangkan pada 60 GHz, bandwidth 1% mencakup 100 saluran TV. ( Saluran TV digital 10-MHz membutuhkan lebih banyak bandwidth.)

### 3. Radar

Radar atau Radio Detection and Ranging adalah suatu sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur jarak suatu objek. Sehingga membutuhkan resolusi yang lebih besar dan frekuensi yang lebih tinggi.



Gambar VI.5 ALTAIR Radar. radar jarak jauh mendeteksi objek di luar angkasa

### **VI.5.1 Sejarah**

Teori Maxwell adalah awal dari gelombang mikro yang terjadi pada abad ke-19. Secara matematis, teori ini menunjukkan adanya perambatan gelombang elektromagnetik, dan cahaya itu disebut gelombang elektromagnetik. Pada saat itu, hanya 2 orang yang mampu memahami bagaimana melakukan teori Maxwell. Heinrich Hertz, memverifikasi teori Maxwell dengan serangkaian eksperimen cerdas mengenai dua puluh tahun yang akan datang, dan Oliver Heaviside, yang mengembangkan bahasa matematika yang dapat dipahami dan digunakan oleh sebagian besar insinyur. Dalam pengembangan bahasanya, Heaviside memperkenalkan notasi vektor dan menyediakan fondasi untuk gelombang terpandu dan jalur transmisi teori. Dimasa mudanya ia adalah seorang telegrapher, dan memahami jalur transmisi dengan sangat baik.

Sedangkan Hertz adalah insinyur microwave pertama. Pada tahun 1887 dan 1891 ia melakukan serangkaian percobaan pada panjang gelombang antara 6 cm dan 6 m. Dia juga melakukan eksperimen lain menggunakan percikan tegangan tinggi (kaya harmonik tinggi) untuk membangkitkan antena dipol setengah gelombang di sekitar 60 MHz yang merupakan transmisinya. Sedangkan penerimanya adalah kawat loop yang dapat disesuaikan dengan celah percikan lain. Ketika ia menyesuaikan resonansi dari antena penerima dengan antena transmisi, Hertz mampu menunjukkan propagasi gelombang untuk pertama kalinya. Hertz mendemonstrasikan antena reflektor pertama, kecepatan yang terbatas dari propagasi gelombang di jalur transmisi koaksial ("membujuk"), gelombang berdiri, dan sejumlah teknik microwave dan RF.

Penemuan selanjutnya untuk pengembangan gelombang mikro adalah metal waveguides, ditemukan secara independen oleh Southworth di AT & T dan Barrow di MIT. Southworth membuat penemuannya pada tahun 1932, tetapi tidak dapat membicarakannya, karena kebijakan perusahaan, sampai pertemuannya pada tahun 1936. Pada saat yang sama, Barrow bekerja pada antena, dan sampai pada kesimpulan bahwa tabung logam berongga dapat memandu gelombang elektromagnetik.

### **VI.5.2 Microwave**

Teknik yang diperlukan untuk transmisi gelombang mikro harus disertai teknik untuk mengukur karakteristik transmisi. Pada frekuensi osilasi (gerakan titik awal melewati titik keseimbangan ke simpangan maksimum di ujung lain dan kembali ke titik awal dengan melewati titik keseimbangan) diganti dengan pengukuran panjang gelombang; kuantitas dasar, arus dan tegangan, sehingga kekuatan dan fase

gelombang menjadi penting. Ciri kuantitas fisik adalah memiliki empat dimensi, yaitu massa, panjang, waktu, dan muatan.

Karakteristik kuantitas gelombang mikro ada tiga "dimensi", ini dapat diambil sebagai daya, panjang, dan frekuensi, dan semua pengukuran gelombang mikro dapat dikurangi menjadi pengukuran tiga parameter.

Pada frekuensi RF dan microwave ketidaksesuaian komponen dengan impedansi karakteristik dari jalur transmisi sistem pengukuran dapat menjadi salah satu dari sumber kesalahan paling penting dan komponen sistematis ketidakpastian dalam pengukuran daya dan atenuasi.

Kekuatan gelombang mikro dinyatakan dalam watt, atau dalam kelipatan submultiple watt {megawatt (Mw), kilowatt (kw), atau milliwatt }. Sedangkan panjangnya dinyatakan dalam meter (m) atau sentimeter (cm). Dan frekuensinya dalam siklus per detik (cps), kilocycles per detik (kc / see), atau megacycles per detik (Me / see).

Tabel VI.1 simbol huruf yang sering digunakan dalam radioaktif

Electric field .....	$E$
Magnetic field .....	$H$
Imaginary unit, $\sqrt{-1}$ .....	$j$
Propagation constant, $\gamma = \alpha + j\beta$ .....	$\gamma$
Attenuation constant .....	$\alpha$
Phase constant or wave number, $2\pi/\lambda$ .....	$\beta$
Wavelength* .....	$\lambda$
Wavelength in waveguide .....	$\lambda_g$
Frequency .....	$\nu$
Angular frequency, $2\pi\nu$ .....	$\omega$
Voltage standing-wave ratio, VSWR .....	$r$
Reflection coefficient .....	$\Gamma$
Dielectric constant* .....	$\epsilon$
Magnetic permeability* .....	$\mu$
Relative dielectric constant, † or specific inductive capacity, $\epsilon/\epsilon_0$ .....	$k_e$
Power .....	$P$
Impedance, $Z = R + jX$ .....	$Z$
Admittance, $Y = 1/Z = G + jB$ .....	$Y$

Pada dua baris terakhir pada tabel 1 yang mengarah pada tanda positif menunjukkan reaktansi suatu induktansi dan kerentanan kapasitansi.

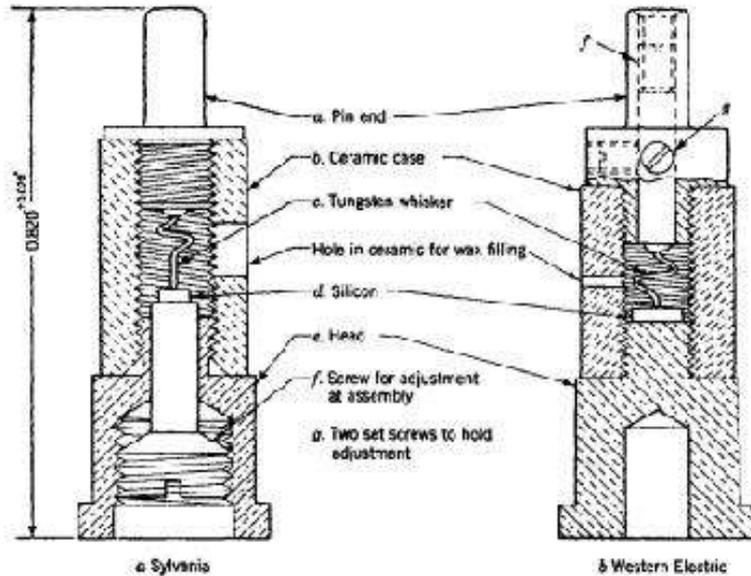
Pada frekuensi yang lebih rendah, tegangan dan arus dapat diukur dengan mudah, dan daya biasanya diperoleh dari tegangan dan arus. Pada frekuensi gelombang mikro, sulit untuk mengukur tegangan dan arus karena beberapa alasan, yaitu tegangan dan arus berubah sepanjang saluran transmisi, dan dalam arus dan tegangan pengukur gelombang tidak masuk akal secara fisik.

### **VI.5.3 Deteksi Gelombang Mikro**

Kehadiran microwave radiasi dapat dideteksi oleh listrik atau dengan metode termal. Metode termal adalah satu-satunya metode yang mengakui absolut kalibrasi. Metode termal umum digunakan untuk seluruh spektrum elektromagnetik dan melibatkan konversi energi radiasi ke panas. Konversi frekuensi, atau demodulasi, mungkin dicapai dengan apa pun perangkat listrik nonlinier, tetapi efisiensi konversi dan manfaat rentang frekuensi sangat bervariasi dari satu perangkat ke perangkat lainnya.

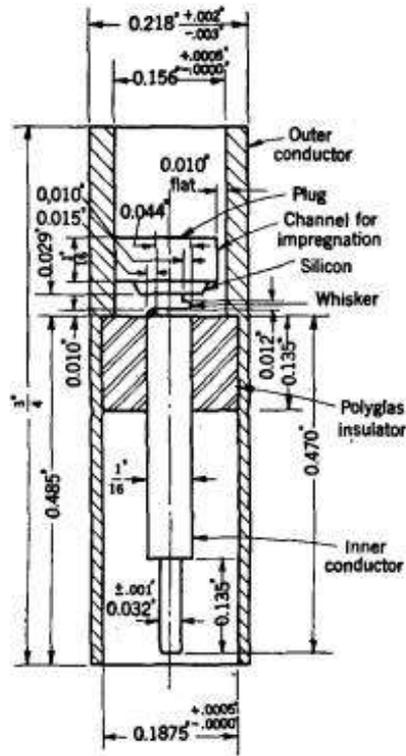
Elemen konversi yang sesuai untuk gelombang mikro adalah kristal silikon dengan kucing tungsten kumis (tungsten cat whisker). Silikon yang merupakan jejak ketidakmurnian ditambahkan adalah logam semikonduktor. Pada titik tungsten kontakannya sangat halus dengan permukaan al tryst, perbedaannya terdapat pada fungsi kerja dari dua logam tersebut. Yang menyebabkan lapisan batas yang sangat tipis dan harus diatur. Lapisan ini 'tidak simetris dan ketahanan kontak bergantung pada tanda dan besarnya tegangan. Penyearah kristal ini merupakan perangkat nonlinear yang sangat baik untuk frekuensi

gelombang mikro karena wilayah aktif di sekitar titik kumis sangat kecil. Untuk penggunaan gelombang mikro, kristal dikemas dalam kartrid kecil.



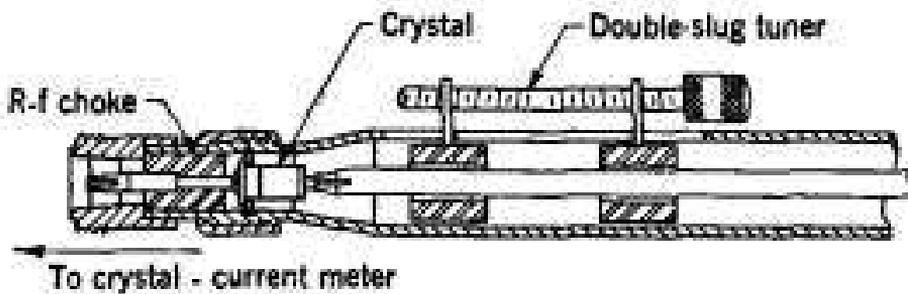
Gambar VI.6 Standard keramik dan kristal cartridge

Gambar 2 menunjukkan penampang dari kristal kartrid standar yang biasa digunakan kecuali frekuensi gelombang mikro tertinggi. Kontak yang sensitif disesuaikan selama pembuatan, dan ruang di sekitar kontak diisi dengan lilin. Unit yang dihasilkan stabil, baik secara elektrik dan secara mekanis.



Gambar VI.7 Kristal cartridge terlindungi untuk gelombang - panjang mendekati 1 cm.

Pada kristal ini sudah terpasang ujung garis koaksial berdiameter kecil, garis koaksial ini cocok pada panjang gelombang 1,25 cm, letika daya gelombang mikro adalah 1 mw. Upaya pengembangan penyearah kristal jenis ini melibatkan konversi microwave energi ke frekuensi rendah, atau mungkin nol, dengan menggunakan nonlinear elemen dan deteksi energi dengan frekuensi rendah biasa teknik. Peningkatan dari upaya ini ada pada sensitivitas dari rectifier dan dalam kekasaran unit. Sehingga kristal kartrid keramik memiliki ukuran yang sesuai untuk pemasangan sebagai perpanjangan dari pusat konduktor dari garis koaksial untuk panjang gelombang mendekati 10 cm. Gambar skeatiknya sebagai berikut.



Gambar VI.8 Coaxial - line mounting untuk kristal keramik cartridge dengan elemen tuning untuk impedansi

Kristal diapit oleh dua choke dari logam atau bahan dielektrik yang mencerminkan insiden gelombang mikro. Posisi kedua choke dapat disesuaikan dan dimungkinkan untuk mengatur agar gelombang dipantulkan oleh kristal dibatalkan oleh gelombang yang dipantulkan dari choke.

## REFERENSI

Farooq, S. 2010. *Detection & Measurement of Radioactivity*.

Montgomery, Carol. G. 1947. *Technique of Microwave Measurements*.  
America: Printed in the united states of America

Popović, Zoya and Edward F. Kuester. 2017. *Principles of RF and Microwave Measurements*. University of Colorado

Mann WB, A Rytz and A Spagnol . 2012 . Radioactive Measurement.

## **SENSOR KIMIA DAN BIO SENSOR**

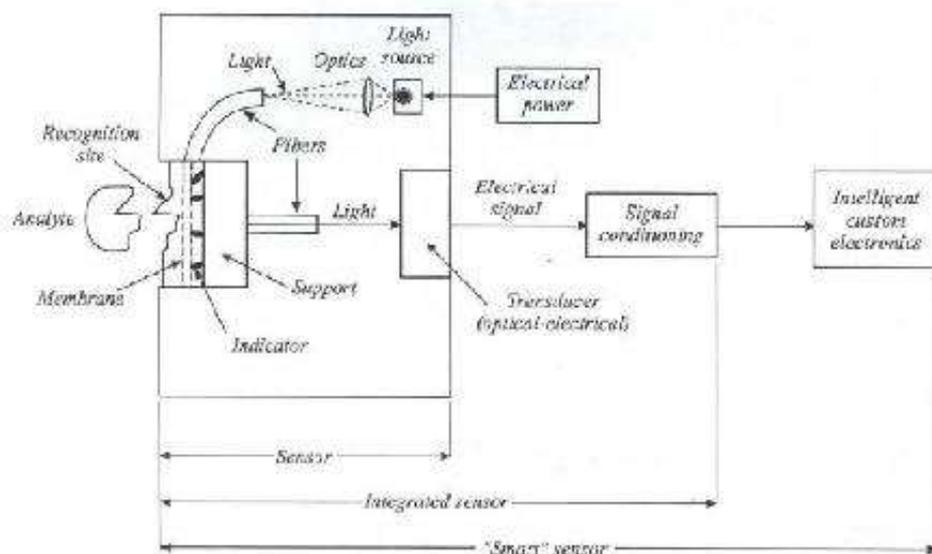
Pada tahun 1962 Clark menemukan sensor bio pertama, ia menggambarkan sebuah eksperimen menggunakan elektroda oksigennya yang ditutup membran berisi glukosa oksidase. Saat ini, sensor kimia yang paling sering diproduksi ialah solid state sensor oksigen, sensor ini mampu merekam tingkat oksigen secara terus-menerus. Adanya ketersediaan serat optik mengakibatkan sensor kimia mengalami dorongan lebih lanjut. tahun 1980-an adaptasi reaksi biokimia pada sensor teknologi meluas. Sensor oksigen bentuk probe lambda di catalytic converter dan pH gelas elektroda adalah sensor yang paling banyak digunakan dan diproduksi. Keadaan pengindraan kimia, biosensing dan ulasan pada serat optik sensor telah digambarkan dalam beberapa buku. Adanya jurnal baru pada sensor kimia dan sensor bio muncul melengkapi karya-karya dalam jurnal kimia dan biologi. Untuk mengklasifikasi sensor optik tersebut, perlu mengetahui sensor kimia dan sensor bio lebih lanjut.

### **VII.1 Pengertian Sensor Kimia Dan Sensor Bio**

Banyak kesalahan persepsi dengan istilah sensor kimia dan sensor bio. Masalah terdapat pada kata sensor. Sensor berasal dari bahasa latin yaitu *sensus* dan *sensorium* yang memiliki arti akal dan kepekaan. Sensor digunakan untuk menggambarkan sebagian besar emosi dari fenomena rasional. Sensor mengubah variabel input menjadi sinyal untuk pengukuran. Yang terpenting sebuah sensor berfungsi secara reversibel dan terus-menerus. Biasanya sensor ditempatkan dalam kontak dengan sampel dan hasilnya ditampilkan seiring waktu. Namun hanya sedikit sensor kimia atau

sensor bio yang mencapai ini dengan sempurna. Menurut definisi Cambridge sensor kimia adalah perangkat miniatur yang dapat memberikan realtime dan informasi on-line tentang keberadaan senyawa atau ion tertentu, bahkan sampel yang rumit sekalipun.

Sensor yang memiliki bagian reseptor berdasarkan prinsip biokimia biasanya disebut sensor bio. Selektivitas dan sensitivitas dalam sensor bio biasanya digunakan untuk melumpuhkan senyawa biologis seperti enzim dan imunoglobulin. Cara efektif mendapatkan selektivitas biologis adalah kombinasi kultur sel, irisan jaringan, organ dan kadang-kadang dari organisme hidup utuh dengan transduser. Sensor bio sering dianggap sebagai tipe khusus sebuah sensor kimia. Sensor bio dapat mendeteksi dan menentukan spesies biologis, misal dengan memanfaatkan polimer yang dicetak secara molekuler. Contoh sensor bio yaitu sensor gen untuk ion timbal dalam air minum. Perbedaan sensor kimia dan sensor bio terdapat pada komponen biologis atau bioteknologi yang digunakan sensor bio.



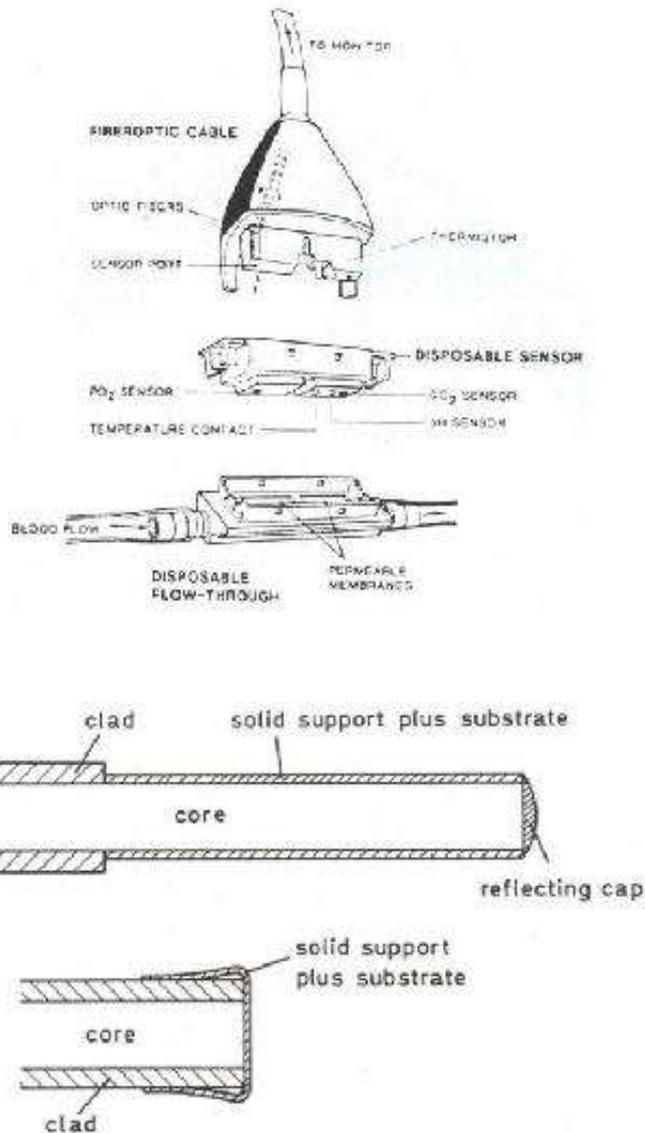
Gambar VII.1 Diagram Bio-Sensor

## **VII.2 Klasifikasi Sensor Kimia Dan Sensor Bio**

Sensor kimia dan sensor bio dapat merasakan spesies kimia atau biokimia, baik itu gas, cairan atau molekul terlarut atau tersuspensi, kompleks atau agregat. Ada banyak klasifikasi sensor yaitu berdasarkan penyerapan, reflektifitas, hamburan cahaya, dll. Metode lain adalah mengklasifikasi sensor berdasarkan analit atau sensor untuk  $H^+$ , glukosa, albumin, dll. Terkadang dokter dan produsen mengklasifikasi sensor sesuai bidang mereka seperti sensor perawatan kritis, sensor diagnostik rumah, serta sensor instan. Ada pula sensor untuk di lingkungan, dalam penelitian kelautan, dalam industri, dalam meteorologi dan dalam industri mobil. Klasifikasi pengukuran fluoresensi dibagi menjadi Tipe A (sensor polos), Tipe B (sensor mediator langsung), dan Tipe C (sensor termediasi tidak langsung), Tipe D (sensor bio enzim langsung), Tipe E (sensor bio enzimatis dengan indikator), dan Tipe F (afinitas sensor bio). Sensor bio paling terkemuka yaitu sensor bio glukosa, menggunakan generasi proton, oksigen atau hidrogen peroksida oleh oksidase glukosa. Semua sensor ini dapat digabungkan ke serat optik atau gelombang lainnya untuk mencapai kemampuan penginderaan jauh, meningkatkan selektivitas atau fitur khusus lainnya.

### **VII.2.1 Sensor Fluorometrik Polos (Tipe A)**

Sensor ini bergantung pada pengukuran berkelanjutan dari cahaya yang berasal dari temperatur properti sampel yang rendah. Pada sensor ini sebagian kecil dari sampel yang akan dirasakan dilewatkan loop eksternal dimana luminescence dapat direkam. Sensor ini sering digabungkan dengan teknologi serat optik. Pada prinsipnya biasanya sensor ini menggunakan sinyal yang langsung oleh analit untuk menghindari kesalahan deteksi tidak langsung. Gambar VII.2 adalah sensor fluorometrik polos.



Gambar VII.2 sensor fluorometrik polos

## VII.2.2 Sensor Kimia Mediator Langsung (Tipe B)

Banyak spesies kimia seperti hidrogen, oksigen, proton(pH), logam berat dan banyak organik tidak memiliki luminescence analitik. Hal ini menyebabkan spesies tersebut tidak dapat diperiksa atau dirasakan langsung. Adanya spesies berwarna yang terkandung dalam matriks

dengan optik sifat yang mirip dengan spesies yang diinginkan juga membuat mereka tidak dikenali oleh kekhususan probe dan matriks berbasis polimer. Matriks ini tidak hanya harus memberikan kekhususan tetapi juga harus stabil dan tidak larut dalam sampel. Polimer yang paling umum digunakan karena stabil terhadap pelarut polar yang tertinggi adalah air dan senyawa-senyawa apolar.

### **VII.2.3 Sensor Kimia Termediasi Tidak Langsung (Tipe C)**

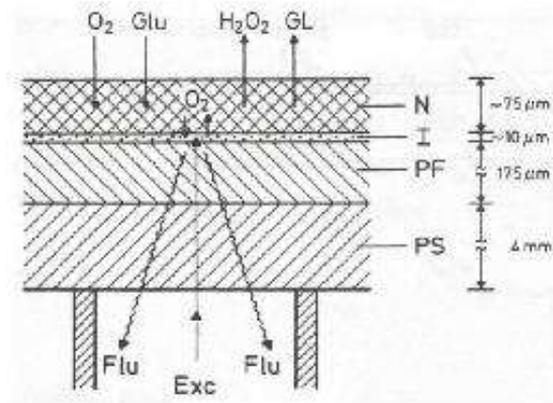
Berbeda dengan sensor langsung, tipe B, untuk menghindari kesulitan seperti indikator tidak langsung, reversibilitas yang buruk atau sensitivitas, kebutuhan suhu tinggi, penambahan reagen agresif atau penyesuaian pH tertentu sensor Tipe C dapat digunakan spesies yang terbentuk atau dikonsumsi dalam reaksi yang melibatkan analit. Misalnya, banyak dari sensor ini didasarkan pada pH indikator yang terkandung dalam membran polimer, yang permeabel ke analit, tetapi tidak untuk asam atau basa dalam medium.

### **VII.2.4 Sensor Bio Enzim Langsung (Tipe D)**

Sensor bio enzim langsung dibagi menjadi 2 yaitu koenzim dan ko-faktor enzim. Tipe 2 sensor enzim optik langsung didasarkan pada temuan bahwa fluoresensi intrinsik dari koenzim FAD mengalami perubahan intensitas dan waktu peluruhan pada penambahan substrat yang sesuai. Karena didasarkan pada perubahan fluoresensi spesies yang terlibat dalam reaksi analit, sensor ini dapat dianggap sebagai analog dengan kimia sensor Tipe B, meskipun analog ini masih belum sempurna koenzim tidak langsung. Kelemahan utama menggunakan enzim yaitu kurangnya stabilitas termal sehingga menghasilkan masalah dalam penyimpanan dan data produktifitas.

- a. Sensor Bio Enzimatik yang Diaktifkan oleh Indikator (Tipe E)

Sensor Bio enzimatik yang diaktifkan oleh indikator ini adalah alternatif lain dari penggunaan sensor kimia tidak langsung, karena kurangnya indikator khusus untuk beberapa senyawa yang memberikan perubahan luminescence tanpa adanya reagen agreasif. Sensor ini menggunakan sistem biokatalik yang menyaring bahan kimia terbentuk atau dikonsumsi selama reaksi. Permasalahan pada sensor ini adalah potensi interferensi senyawa ke berbagai langkah proses penginderaan. Selain itu enzim yang hanya bekerja di konformasi asli dan dapat mengalami denaturasi terhadap sampel juga menjadi masalah pada sensor ini.



#### b. Afinitas Sensor Bio (Tipe F)

Sensor afinitas menampilkan ireversibilitas yang agak tinggi sehingga tidak dapat digunakan sebagai acuan sensor yang sebenarnya (perangkat rekaman yang terus-menerus) ini berlaku untuk indikator ion logam, dan untuk immunosensor dan sensor gen. dalam kasus imunosensor bagian reaksi sebagian besar sangat lambat sehingga sensor tidak mungkin terbalik di suhu kamar dalam waktu yang wajar. Namun berbeda halnya jika ditambahkan asam atau basa sebagai agen regenerasi.

Klasifikasi yang paling umum kimia sensor dibedakan menjadi jenis sensor intrinsik dan ekstrinsik :

- Sensor kimia intrinsik, prinsip pengindraannya didasarkan pada perubahan dalam karakteristik transmisi cahaya karena perubahan yang terjadi pada properti serat (misalnya, indeks bias atau panjang) pada interaksi dengan analit. Serat optik itu sendiri memiliki karakteristik sensoris. Jenis sensor ini terutama digunakan untuk mengukur parameter fisik atau fisikokimia, seperti tekanan, suhu, atau entalpi reaksi.
- Sensor kimia ekstrinsik, serat optik bertindak sebagai media pengangkut dengan cara mengarahkan radiasi dari sumber ke sampel atau dari sampel ke sistem deteksi. Sensor ekstrinsik dibagi menjadi distal dan lateral. Yang paling umum adalah sensor jenis distal, di mana indikator diimobilisasi pada ujung distal (ujung) dari serat optik. Sedangkan dalam sensor lateral, penginderaan dapat diimobilisasi sepanjang bagian inti serat optik untuk membuat sensor medan cepat hanya bertahan dalam kurun waktu singkat.

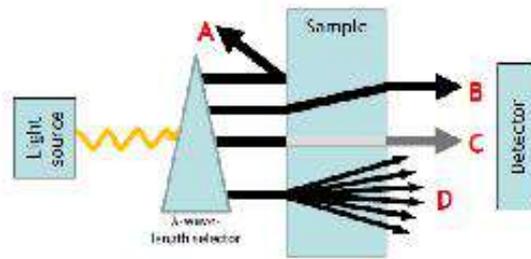
### **VII.3 PRINSIP SENSOR KIMIA DAN SENSOR BIO**

#### **A. prinsip deteksi optik**

Hanya sebagian rentang panjang gelombang spektroskopi yang berguna pada pengaplikasi sensor. Dari gambar di mana radiasi dapat berinteraksi dengan sampel analitik adalah yang paling berguna :

- Absorpsi
- Emisi (fluoresensi atau pendar)

- Refleksi dan refraksi



Gambar. Pengaturan umum pengukuran spektroskopi: A - refleksi cahaya, B - cahaya refraksi, C - penyerapan cahaya, D - emisi cahaya.

(sumber : “Optical Chemical Sensors:Design and Applications” - Chapter · January 2012)

Metode yang didasarkan pada penyerapan cahaya atau emisi cahaya lebih banyak diterapkan dibandingkan dengan metode berbasis penyerapan. Emisi molekuler (fluoresensi, pendar, dan secara umum, luminescence) sangat penting karena sensitivitas ekstrim dan spesifisitas yang baik. Sensitivitas metode luminescence adalah sekitar 1000 kali lebih besar daripada kebanyakan metode spektrofotometri. Selain itu, batas deteksi yang lebih rendah untuk analit yang diinginkan dapat dicapai. Kelemahan Pengukuran intensitas emisi cahaya dibandingkan dengan pengukuran emisi lifetime, di mana sampel hanya tertarik oleh pulsa elektromagnetik daripada melalui penerangan terus menerus, yang merupakan kasus dengan metode berbasis intensitas.

Ketepatan dan akurasi skema berbasis intensitas luminescence sangat dipengaruhi oleh fluktuasi intensitas sumber cahaya, sensitivitas detektor, efek filter bagian dalam, konsentrasi indikator (pemutihan dan pencucian), kekeruhan sampel, dan ketebalan lapisan

penginderaan. Masalah ini dapat diminimalkan atau bahkan diatasi dengan mengukur masa hidup luminescence bukan intensitas.

Cara lain untuk mengurangi masalah yang terkait dengan intensitas serta dengan lifetime prinsip deteksi adalah penggunaan pengukuran ratiometric. Teknik ini menggunakan duaemission atau dual-eksitasi indikator atau campuran dari dua luminofor, ditunjukkan dengan memisahkan area spektral dengan perilaku yang berbeda. Proses penting lainnya yang terjadi dalam keadaan tereksitasi adalah Förster atau transfer energi resonansi fluoresensi (FRET). Karena sensitivitasnya terhadap jarak, FRET telah digunakan untuk menyelidiki interaksi molekuler.

## B. Prinsip Biosensor

Enzim spesifik diimobilisasikan dengan metode konvensional (jebakan fisik atau membran, ikatan non-kovalen atau kovalen). Bahan biologis imobilisasi ini berada dalam kontak intim dengan transduser. Analit mengikat bahan biologis untuk membentuk analit terikat yang pada gilirannya menghasilkan respons elektronik yang dapat diukur. Dalam beberapa kasus, analit diubah menjadi produk yang mungkin terkait dengan pelepasan panas, gas (oksigen), elektron atau ion hidrogen. Transduser dapat mengubah produk yang terkait perubahan menjadi sinyal listrik yang dapat diperkuat dan diukur.

### Gambar VII.3 Alur Pengukuran Biosensor (Malhotra, 2017)

Cara kerja dari Biosensor : Sinyal listrik dari transduser biasanya rendah dan ditumpangkan pada yang relatif tinggi dan berisik (yaitu mengandung komponen sinyal frekuensi tinggi dari sifat yang tampaknya acak, karena gangguan listrik atau dihasilkan dalam komponen elektronik dari transduser) baseline. Pemrosesan sinyal biasanya melibatkan pengurangan sinyal referensi 'referensi', berasal dari transduser yang sama tanpa membran biokatalis, dari sinyal sampel, memperkuat perbedaan sinyal yang dihasilkan dan pemfilteran secara elektronik (menghaluskan) keluar dari kebisingan sinyal yang tidak diinginkan. Sifat relatif lambat dari respon biosensor sangat memudahkan masalah filtrasi kebisingan listrik. Sinyal analog yang dihasilkan pada tahap ini dapat menjadi output

secara langsung tetapi biasanya diubah menjadi sinyal digital dan diteruskan ke tahap mikroprosesor di mana data diproses, dimanipulasi ke unit yang diinginkan dan output ke perangkat tampilan atau penyimpanan data.

#### **VII.4 APLIKASI SENSOR KIMIA DAN SENSOR BIO**

Dalam bidang medis misalnya banyak sensor sudah difabrikasi untuk deteksi glukosa, urea, kolesterol, hepatitis B dan bahkan sejumlah bakteri penyebab penyakit sudah dapat dideteksi dengan menggunakan sensor kimia atau biosensor. Aplikasi yang lebih spesifik adalah sensor juga digunakan untuk mendeteksi senyawa tertentu yang tidak diinginkan seperti alkohol atau senyawa tertentu yang menghasilkan bau yang bisa merusak kualitas produk. Aplikasi terakhir banyak digunakan pada industri makanan. Salah satu aplikasi paling populer pada sensor kimia adalah untuk memonitor kualitas lingkungan. Baik itu kualitas air maupun kualitas udara. Untuk memantau kualitas air telah banyak dikembangkan sensor untuk mendeteksi parameter-parameter penting penentu kualitas air seperti BOD, DO, asam, garam-garaman bahkan sejumlah sensor dibuat untuk mendeteksi kontaminasi logam berat pada air. Sementara itu, beragam sensor juga sudah dikembangkan untuk mendeteksi gas baik untuk memonitor kualitas udara ataupun untuk mendeteksi kebocoran gas pada kendaraan atau industri seperti sensor untuk mendeteksi gas. Misalnya pada sensor pendeteksi gas kebakaran atau sensor gas LPG untuk mendeteksi kebocoran gas LPG di rumah tangga atau perkantoran.

Pada biosensor spesifik dapat dirancang untuk mengukur generasi produk fermentasi. Biosensor juga untuk pengukuran karbohidrat, alkohol, dan asam tersedia secara komersial. Aplikasi potensial biosensor berbasis enzim untuk kontrol kualitas makanan termasuk pengukuran asam amino,

amina, amida, senyawa heterosiklik, karbohidrat, asam karboksilat, gas , cofactors, ion anorganik, alkohol, dan fenol. Biosensor dapat digunakan dalam industri seperti produsen bir, yogurt, dan minuman ringan. Immunosensor memiliki potensi penting dalam memastikan keamanan makanan dengan mendeteksi organisme patogen pada daging segar, unggas, atau ikan.

## **Referensi**

- Lobnik, Aleksandra ; Turel, Matejka ; Urek, Spela Korent ;. (2012). Optical Chemical Sensors:Design and Applications. ResearchGate, 1-27.
- Malhotra, S., Verma, A., Tyagi, N., & Kumar, V. (2017). BIOSENSORS: PRINCIPLE, TYPES AND APPLICATIONS. IJARIE-ISSN, 3(2), 1-6.
- Nagl, Stefan ; Wolfbeis, Otto S ;. (2008, February). • Classification of Chemical Sensors and Biosensors Based on Fluorescence and Phosphorescence. ResearchGate, 1-33.
- Rogres, .k;. (2012). Biosensor and Chemical Sensor Technology. (K. R. Rogers, A. Mulchandani, & W. Zhou, Eds.) Washington DC: ACS Symposium Series.
- U. , Hashim; S. , Fatimah Abd Rahman; M. , E. A. Shohini;. (2010). Biosensor : Design and Fabrication of Nanowire-Based Conductance Biosensor using Spacer Patterning Technique. (P. A. Serra, Ed.) Malaysia: Nano Biochip Research Group.

## **SIGNAL PROCESSING AND CONDITIONING**

Dalam pengolahan sinyal dapat dibagi menjadi pemrosesan sinyal dan pengkondisian sinyal. Pemrosesan sinyal memproses sinyal dalam banyak cara seperti penyaringan atau transformasi. Sementara pengkondisian sinyal lebih mempersiapkan sinyal agar cocok untuk tahap berikutnya. Keduanya sangat berkaitan erat dalam pengolahan sinyal. Beberapa jenis pemrosesan sinyal dan pengkondisian sinyal yang dibahas dalam book chapter ini antara lain OpAmp, signal conditioner, filter, dan A/D konverter

Operasi dasar sinyal yaitu penerapan operasi-operasi dasar matematika untuk memproses satu sinyal atau lebih. Umumnya, operasi-operasi ini dilakukan menggunakan alat-alat tambahan seperti amplifier, filter dan sebagainya, sehingga memungkinkan kecil munculnya error seperti noise dan distorsi. Operasi dasar sinyal terdiri dari, amplifikasi, penambahan, perkalian, dan pergeseran (delay). Pengkondisian sinyal merupakan operasi-operasi pada sinyal guna mengkonversi sinyal tersebut ke bentuk yang sesuai dengan yang diperlukan untuk interface dengan elemen-elemen lain dalam sistem instrumentasi. Efek pengkondisian sinyal pada sinyal masukan sering dinyatakan dalam bentuk fungsi alih

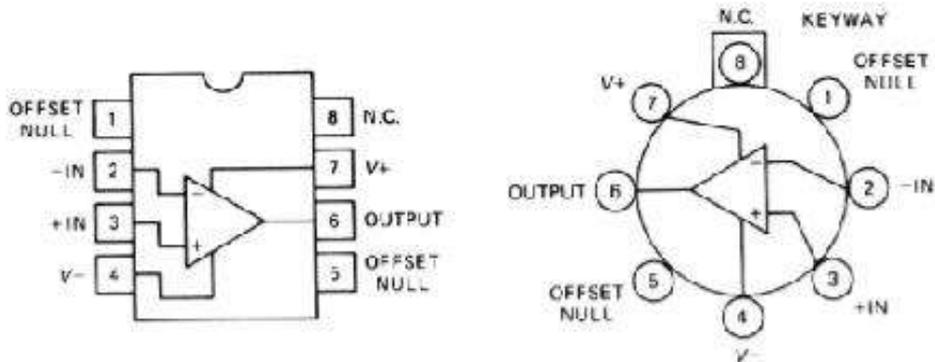
### **VIII.1 Operational Amplifier (OP-AMP)**

Op-Amp adalah salah satu bentuk dari IC linier yang berfungsi sebagai penguat sinyal listrik. Sebuah op-amp terdiri dari beberapa Transistor, diode, resistor, dan kapasitor yang terinterkoneksi dan terintegrasi sehingga memungkinkannya untuk menghasilkan gain (penguatan) yang lebih tinggi dalam rentang frekuensi yang luas.

#### **1. Ideal Op-Amp**

### Terminal Utama Op-Amp :

- Masukan Inverting
- Masukan Non-Inverting
- Output
- Power Supply



Gambar VIII.1 Contoh dari kaki keluaran IC op-amp

Pada dasarnya, kondisi Op-Amp ideal hanya merupakan teoritis dan hampir tidak mungkin dicapai dalam kondisi praktis. Namun produsen perangkat Op-Amp selalu berusaha untuk memproduksi Op-Amp yang mendekati kondisi idealnya ini. Oleh karena itu, sebuah Op-Amp yang baik adalah Op-Amp yang memiliki karakteristik yang hampir mendekati kondisi Op-Amp Ideal

#### Karakteristik Ideal Op-Amp

- A. Penguatan Tegangan Open-loop atau  $A_v = \infty$  (tak terhingga)

Dalam op-amp ideal Avolis, nilai gTypical yang tak terbatas berkisar dari 20.000 hingga 200.000 di perangkat nyata.

- B. Input impedansi tak terbatas

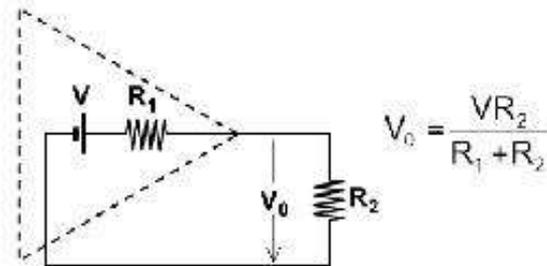
—

Dimana Zin tidak terbatas, arus input  $I_{in} = 0$

- C. Keluaran impedansi = 0

Op-amp ideal bertindak sebagai sumber tegangan internal yang sempurna tanpa hambatan internal. Resistansi internal ini seri dengan beban, mengurangi tegangan output yang tersedia untuk beban. Op-amp memiliki impedansi keluaran dalam rentang 100-20ohm

Contoh :



Gambar VIII.2 OpAmp memiliki impedansi keluaran = 0

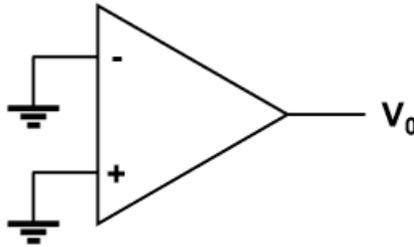
D. Tidak memiliki noise

Pada op-amp ideal, tegangan noise nol dihasilkan secara internal. berarti, setiap noise pada output pasti ada di input juga.

Op-amp praktis dipengaruhi oleh beberapa sumber noise, seperti noise resistif dan semikonduktor. Efek ini dapat memiliki efek yang cukup besar dalam aplikasi tingkat sinyal rendah

E. Keluaran offset = 0

Output offset adalah tegangan output dari sebuah amplifier ketika kedua input di-ground. Op-amp ideal memiliki keluaran offset 0, tetapi op-amp memiliki sejumlah keluaran tegangan offset.



Gambar VIII.3 OpAmp ideal menghasilkan offset keluaran = 0

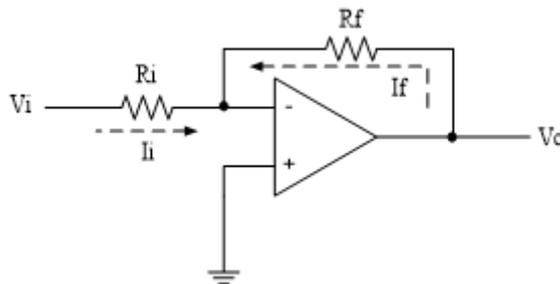
F. Bandwidth tidak terbatas

Op-amp ideal akan memperkuat semua sinyal dari DC ke frekuensi AC tertinggi. Dalam op-amp nyata, bandwidth agak terbatas. Keterbatasan ini ditentukan oleh produk Gain-Bandwidth (GB), yang sama dengan frekuensi di mana gain penguat menjadi kesatuan.

2. Op-Amp Inverting Dan Non-Inverting

A. Op-Amp inverting amplifier

Penguat ini memiliki ciri khusus yaitu sinyal keluaran memiliki beda fasa sebesar  $180^\circ$ . Pada rangkaian penguat yang ideal memiliki syarat bahwa tegangan masukan sama dengan 0 dan impedansi masukan tak terhingga. Sehingga dari rangkaian tersebut dapat diperoleh rumus penguat adalah sebagai berikut :



Gambar VIII.4 Penguat inverting

=

Dimana  $i = 0$ , maka :



Tanda (-) negatif menunjukkan terjadi pembalikan pada keluarannya atau memiliki beda fasa sebesar  $180^0$  dengan masukannya.

#### B. Op-Amp non-inverting amplifier

Penguat tersebut dinamakan penguat non-inverting karena masukan dari penguat tersebut adalah masukan non-inverting dari Op Amp. Tidak seperti penguat inverting, sinyal keluaran penguat jenis ini sefasa dengan sinyal masukannya. Seperti pada rangkaian penguat inverting syarat ideal sebuah penguat adalah tegangan masukan sama dengan 0 dan impedansi masukan tak terhingga. sehingga dari rangkaian tersebut dapat diperoleh rumus penguat adalah sebagai berikut :

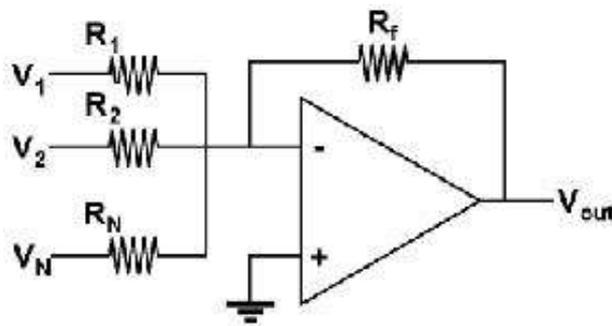


Rangkaian penguat inverting maupun non-inverting biasanya menggunakan IC Op-Amp 741. Dengan memahami prinsip kerja dari rangkaian ini, maka rangkaian pengembangan dari rangkaian Op-Amp ini seperti rangkaian ADC (Analog to Digital Converter).

### 3. Summing Dan Diferensial Op-Amp

#### A. Summing Ap-Amp

Summing amplifier adalah sebuah rangkaian elektronika yang memiliki fungsi untuk menjumlahkan dua atau lebih tegangan listrik. Rangkaian summing amplifier dibuat dengan menggunakan IC Operational Amplifier alias IC op-amp. Pada dasarnya rangakain summing ini sama seperti rangkaian op-amp biasa, namun ada satu hal yang membedakan yakni pada pengaturan tahanan inputnya.



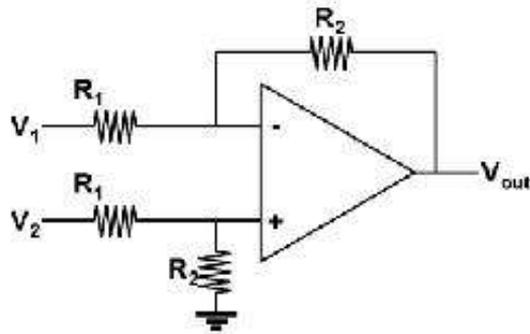
Gambar VIII.5 Rangkaian penjumlahan tegangan(Bruce Carter and Thomas R.Brown, 2016)

Persamaan tersebut dirancang dengan memanfaatkan sifat tahanan paralel yang terdapat pada bagian input sebuah rangkaian elektronika.

#### B. Diferensial Op-Amp

Penguat diferensial memperkuat perbedaan antara dua tegangan yang membuat rangkaian penguat operasional jenis Pengurangan (*Subtractor*) ini tidak seperti Penguat Penjumlah yang menambahkan atau menghitung tegangan input . Jenis

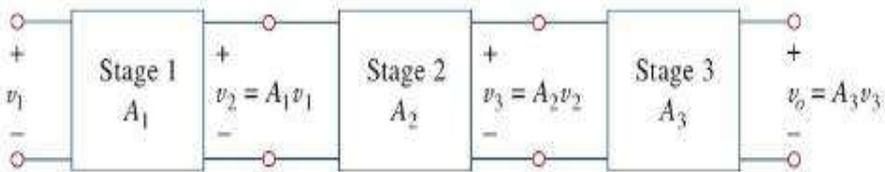
rangkaian penguat operasional ini umumnya dikenal sebagai konfigurasi Penguat Diferensial.



Gambar VIII.6 Penguat deferensial (Bruce Carter and Thomas R.Brown, 2016)

#### 4. Cascaded Op-Amp Circuits

Sirkuit amp Op memiliki keuntungan bahwa mereka dapat mengalir tanpa mengubah hubungan input-output mereka. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa setiap rangkaian op amp (ideal) memiliki resistansi input yang tak terbatas dan hambatan keluaran nol. Meskipun koneksi kaskade tidak mempengaruhi hubungan input-output op amp, perawatan harus dilakukan dalam desain rangkaian op amp aktual untuk memastikan bahwa beban karena tahap berikutnya dalam kaskade tidak memenuhi op amp. Tiga - tahap koneksi bertingkat.



Gambar VIII.7 Skema penjumlahan dari beberapa OpAmp

## VIII.2 SIGNAL CONDITIONING

Sinyal conditioning adalah proses pengkondisian sebuah sinyal masukan sehingga dapat bekerja dengan sebuah interface atau sistem kontrol. Signal conditioning memiliki beberapa bentuk-bentuk atau proses yang dapat dilakukan yaitu

1. Perubahan level sinyal
2. Linearisasi
3. Konversi
4. Filtering dan Impedance Matching

### 1. Perubahan level sinyal

Dengan menggunakan amplifier kita dapat mengubah level sinyal dengan berbagai cara seperti menguatkan dan melemahkan level tegangan. Penggunaan amplifier juga tergantung dengan impedansi input.

### 2. Linearisasi

System kontrol sangat dipengaruhi kepada sinyal input dan outputnya. Namun sering didapati bahwa sinyal input dan sinyal output berjalan tidak linier. Ketidak linieran ini dapat menyebabkan ketidak tepatan sebuah pengukuran dari variable yang diperlukan.

### 3. Konversi

Seringkali sinyal yang keluar dari sensor harus diubah untuk menghindari gangguan selama proses transfer. Seperti halnya apabila output yang keluar dari sensor berupa hambatan, maka akan ada perubahan nilai hambatan tersebut ketika ada pengaruh variable dinamis seperti panas dll (ada hubungan antara panas dengan besar hambatan). Oleh karena itu seringkali sinyal output diubah ke dalam bentuk lain seperti tegangan dan arus yang relatif lebih tahan terhadap gangguan variable dinamis

### 4. Filtering dan Impedance Matching

Seringkali terdapat sinyal kuat yang mengganggu pentransmisiian sinyal antar elemen pada sistem kontrol, contohnya pada motor yang dijalankan secara transient maka menghasilkan frekuensi pengganggu sebesar 60Hz. Penyaringan dapat dilakukan dengan menggunakan filter pasif yang terdiri dari resistor, kapasitor, dan induktor) atau filter aktif (gain dan feedback).

## **VIII.2.1 Sirkuit Pasif**

sirkuit pasif terdiri dari resistor, induktor dan kapasitor, sirkuit pasif digunakan untuk mengeliminasi gangguan frekuensi baik yang rendah maupun yang tinggi tanpa merubah signal informasi yang diinginkan.

#### 1. Sirkuit pembagi

Sirkuit pembagi biasanya digunakan untuk membuat variasi konversi dari resistansi ke tegangan. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dari sirkuit pembagi

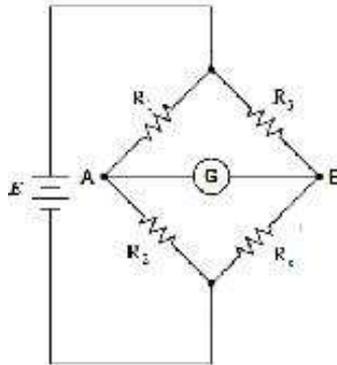
Gambar 9. Sirkuit pembagi (Curtis D. Jhonson, 2014)

- a) Perubahan  $V_D$  terhadap  $R_1$  maupun  $R_2$  tidak linear.
- b) Output impedansi merupakan kombinasi paralel dari  $R_1$  dan  $R_2$  maka efek pembebanan juga perlu diperhitungkan.
- c) Terjadi pembangkitan daya ketika arus melewati ke 2 resistor dan daya masukan dari sensor.

$$D = \text{—————}$$

## 2. Sirkuit bridge

Sirkuit bridge digunakan untuk menghasilkan perubahan output tegangan dengan cara merubah besar impedansi yang ada. Komponen ini sangat berguna ketika perubahan impedansinya sangat kecil. Sehingga tegangan output bervariasi di sekitar 0. Dan juga dapat mempresesikan pengukuran statis dari sebuah impedansi



Gambar 10. Jembatan wheatstone (Curtis D. Jhonson, 2014)

### 3. RC Filter

Untuk menghilangkan noise yang tidak dibutuhkan maka kita perlu menghapus frekuensi yang menyebabkan noise. Alat yang digunakan adalah filter yang terdiri atas resistor dan kapasitor.

#### a) Low Pass RC Filter

Low pass RC filter adalah suatu komponen yang menghalangi signal dengan frekuensi tinggi, dan membiarkan lewat signal dengan frekuensi rendah

#### b) High Pass RC Filter

High pass RC filter adalah suatu komponen yang menghalangi signal dengan frekuensi rendah, dan membiarkan lewat signal dengan frekuensi tinggi.

#### c) Band Filter

Band pass filters adalah komponen yang menghalangi frekuensi di bawah dan di atas limit, serta membiarkan lewat frekuensi signal yang mempunyai harga diantara batas atas dan batas bawah.

Band reject filters adalah komponen yang menghalangi frekuensi signal yang mempunyai harga diantara batas atas dan batas bawah. Serta membiarkan lewat frekuensi signal yang mempunyai harga diatas batas atas dan dibawah batas bawah.

### **VIII.2.2 Filter (Penyaring)**

Filter merupakan rangkaian yang dapat memilih frekuensi agar dapat mengalirkan frekuensi yang diinginkan dan menahan, atau membuang frekuensi yang lain. Jaringan filter bisa bersifat aktif maupun pasif. Perbedaan dari komponen aktif dan pasif adalah pada komponen aktif dibutuhkan sumber agar dapat bekerja (op-amp dan transistor membutuhkan sumber lagi agar dapat bekerja/digunakan), sedangkan komponen pasif tidak membutuhkan sumber lagi untuk digunakan atau bekerja.

Pada dasarnya filter dapat dikelompokkan menurut response (tanggapan) frekuensinya menjadi 4 jenis yaitu :

1. Filter lolos rendah / Low Pass Filter (LPF)
2. Filter lolos tinggi / High Pass Filter (HPF)
3. Filter lolos rentang / Band Pass filter (BPF)
4. Filter tolak rentang / Band Stop Filter (BSF) atau Notch Filter

#### **Macam-Macam Filter**

Berdasarkan komponennya :

##### **A. Filter Aktif**

Filter Aktif merupakan rangkaian filter yang menggunakan komponen komponen elektronik aktif. Komponen penyusunnya terdiri dari op-amp, transistor, dan komponen lainnya.

Komponen utama yang terdapat pada filter aktif adalah:

1. Inverter

Inverter digunakan sebagai filter aktif yang dihubungkan paralel dengan sumber tegangan beban untuk mengkompensasi harmonisa.

## 2. Kontroller

Kontroller digunakan dalam rangkaian filter aktif untuk memper kecil sinyal error pada sumber tegangan.

Keuntungan Filter Aktif :

1. Penguatan dan frekuensinya mudah diatur, selama op-amp masih memberikan penguatan dan sinyal input tidak selalu seperti pada filter pasif. Pada dasarnya filter aktif lebih gampang diatur.
2. Tidak ada masalah beban, karena tahanan input tinggi dan tahanan output rendah. Filter aktif tidak membebani sumber input.
3. Harga, umumnya filter aktif lebih ekonomis dari pada filter pasif, karena pemilihan variasai dari op-amp yang murah dan tanpa induktor yang biasanya harganya mahal.

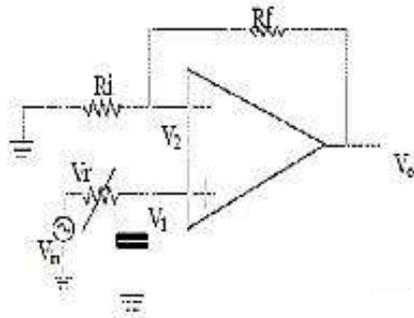
Berdasarkan sinyal yang diredam:

### **Filter Aktif Low Pass (LPF)**

**Filter aktif low pass** adalah rangkaian filter yang menggunakan penguat operasional (Op-Amp) rangkaian terpadu (IC) dimana rangkaian filter aktif low pass ini akan meloloskan sinyal input dengan frekuensi dibawah frekuensi cut off rangkaian dan akan melemahkan sinyal input dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off rangkaian filter aktif low pass tersebut. (*low-pass filter*) digunakan untuk meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi.

## Rangkaian dasar Filter Aktif Low Pass (LPF)

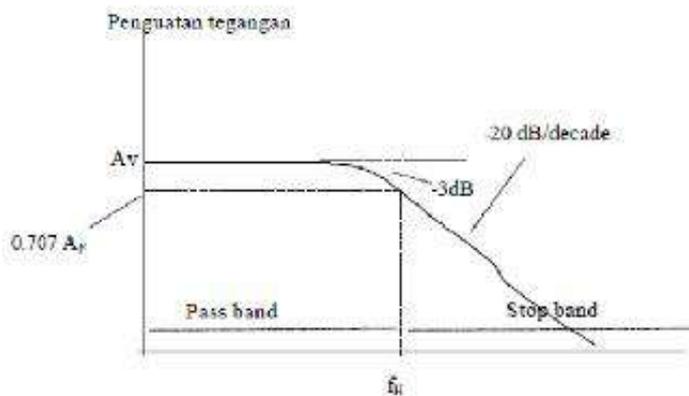
### Filter Aktif LPF



Gambar VIII.9 Filter LPF Aktif

Maka

Jika



Gambar VIII.10 Respon Frekuensi LPF Aktif

Pengoperasian dari Low Pass Filter ini ada 3 macam yaitu :

- Frekuensi sangat rendah  $f < f_H$

—

- Frekuensi  $f = f_H$

— =

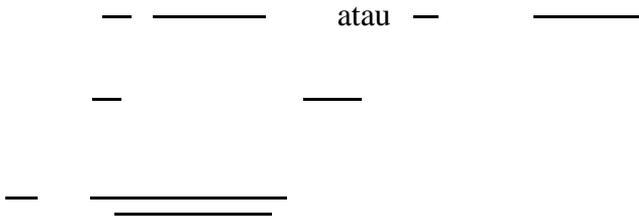
- Frekuensi  $f > f_H$

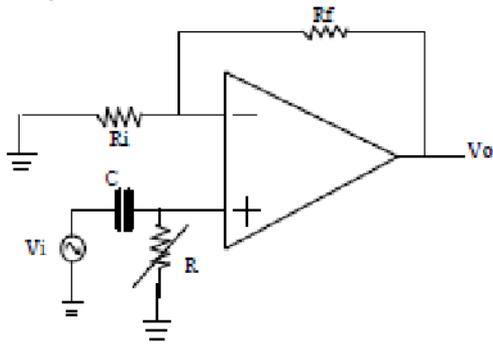
—

### Filter Aktif High Pass (HPF)

*High pass filter* adalah jenis filter yang melewatkan frekuensi tinggi, tetapi mengurangi amplitudo frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi cutoff. Filter ini sangat berguna sebagai filter yang dapat memblokir component frekuensi rendah yang tidak diinginkan dari sebuah sinyal kompleks saat melewati frekuensi tertinggi.

Filter Aktif HPF





Gambar VIII.11 Rangkaian Filter HPF Aktif

### Band Pass Filter

Sebuah band-pass filter merupakan perangkat yang melewati frekuensi dalam kisaran tertentu dan menolak frekuensi di luar kisaran tersebut. Contoh dari analog elektronik band pass filter adalah sirkuit RLC (a resistor-induktor-kapasitor sirkuit). Filter ini juga dapat dibuat dengan menggabungkan -pass filter rendah dengan -pass filter tinggi .

BPF ada 2 macam rangkaian yaitu:

1. BPF bidang lebar , Bila  $Q < 10$
2. BPF bidang sempit, Bila  $Q > 10$

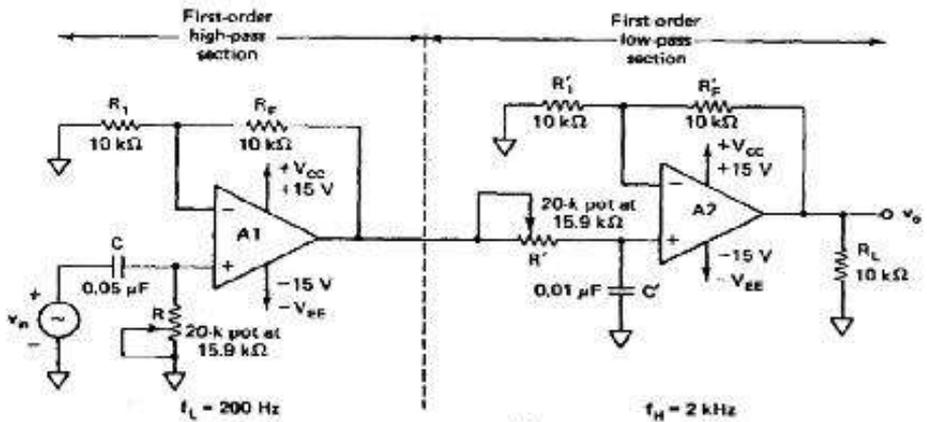
Perhitungan factor kualitas (Q) adalah :

$$\text{_____} \quad \text{_____} \quad \text{_____}$$

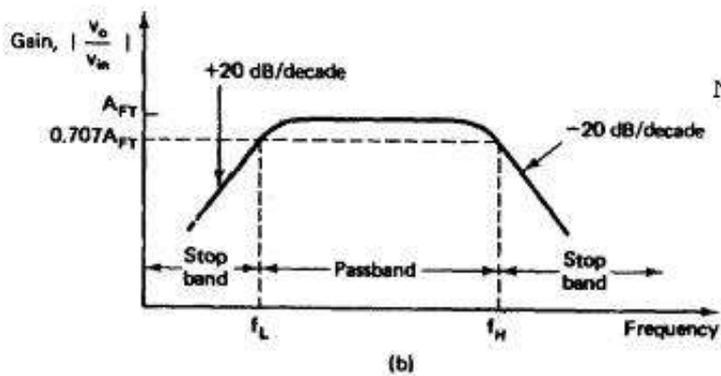
#### A. BPF Bidang Lebar

- Syarat BPF bidang lebar adalah  $Q < 10$ ,
- didapat dari 2 rangkaian filter HPF dan LPF yang diseri dengan urutan HPF-LPF
- Frekuensi cut off LPF > Frekuensi cut off HPF

Rangkaian BPF bidang Lebar



Gambar VIII.12 Rangkaian BPF bidang lebar



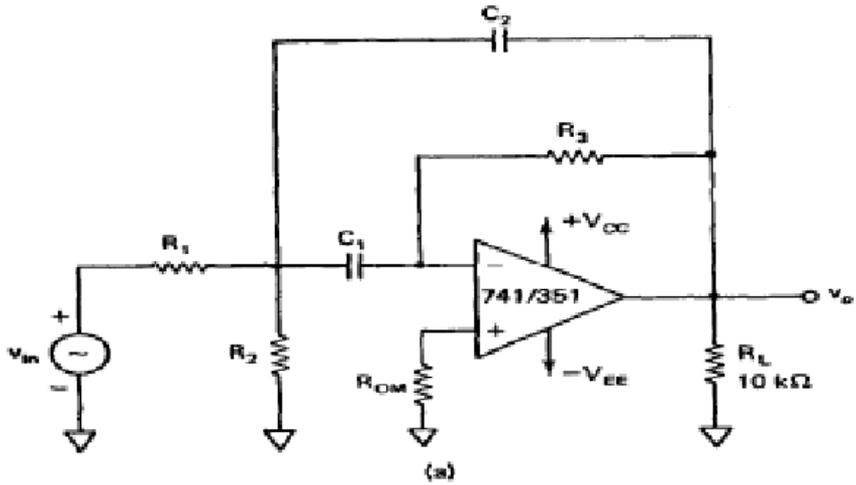
Gambar VIII.13 Respon Frekuensi BPF

Nilai penguatan tegangan absolutnya adalah :

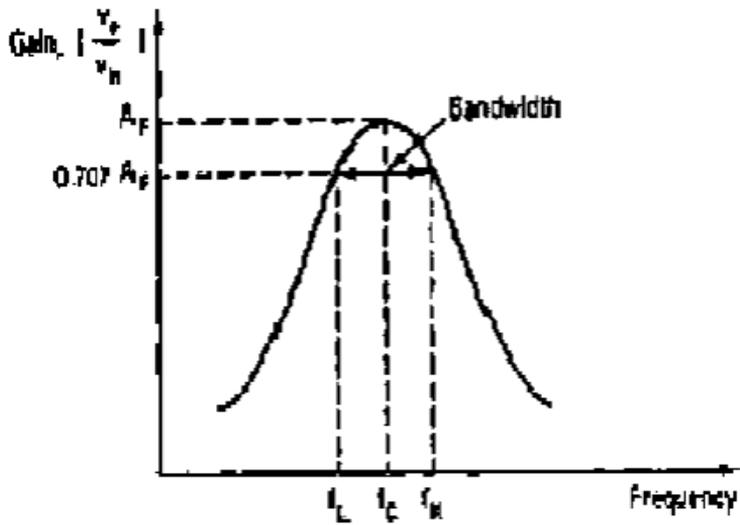
\_\_\_\_\_

### B. BPF Bidang Sempit

Syarat BPF bidang sempit adalah  $Q > 10$ . Rangkaian yang digunakan multiple feedback filter karena satu rangkaian menghasilkan 2 batasan  $L f$  dan  $H f$ .



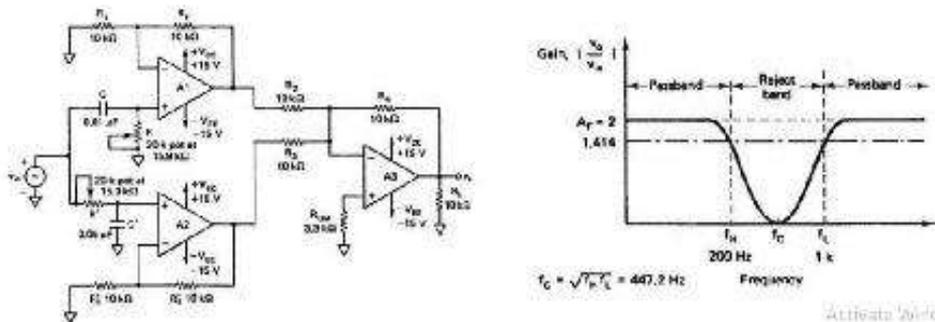
Gambar VIII.14 Rangkaian BPF bidang sempit



Gambar VIII.15 Karakteristik rangkaian BPF bidang sempit

## Band Stop Filter

BRF bidang lebar adalah terdiri dari rangkaian HPF dan LPF yang dimasukkan ke rangkaian penjumlah. Sedang BRF bidang sempit adalah terkenal dengan rangkaian Notch Filter yaitu menolak frekuensi tertentu.



Gambar VIII.16 Rangkaian band stop filter dan karakteristiknya

### **B. Filter Pasif**

Filter Pasif adalah rangkaian filter yang menggunakan komponen-komponen elektronik pasif saja. Dimana komponen pasif itu adalah induktor, kapasitor, dan resistor.

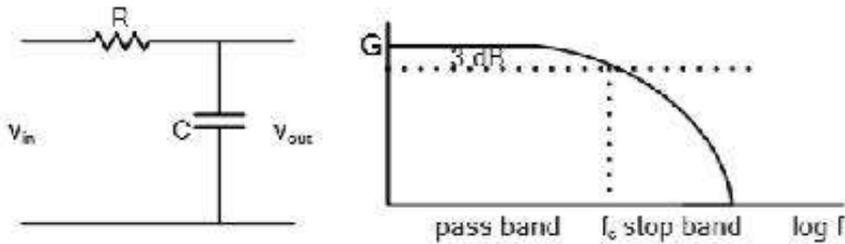
Kelebihan dari rangkaian filter pasif ini adalah dapat tidak begitu banyak noise (sinyal gangguan yang tidak diinginkan) karena tidak ada penguatan, dan digunakan untuk frekuensi tinggi. Sedangkan kerugiannya adalah tidak dapat menguatkan sinyal, sulit untuk merancang filter yang kualitasnya/responnya baik.

Berdasarkan Daerah Frekuensi Yang Dilewatkan, Filter yang digunakan biasanya terdiri dari tiga macam konfigurasi yang dapat dibagi sebagai berikut :

1. Low Pass Filter (LPF)
2. High Pass Filter (HPF)
3. Band Pass Filter (BPF)

### Low Pass Filter (LPF)

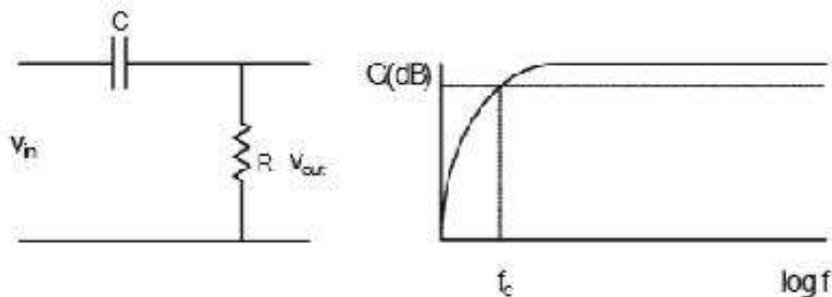
Low Pass Filter merupakan filter yang hanya melewatkan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off ( $f_c$ ). Di atas frekuensi tersebut outputnya mengecil (idealnya tidak ada). Rangkaian RC LPF ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar VIII.17 LPF pasif dan tanggapannya

### High Pass Filter (HPF)

High Pass Filter merupakan filter yang outputnya hanya melewatkan frekuensi diatas frekuensi cut-off ( $f_c$ ). Di bawah frekuensi itu output idealnya tidak ada. Rangkaian RC HPF ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar VIII.18 HPF pasif dan tanggapannya

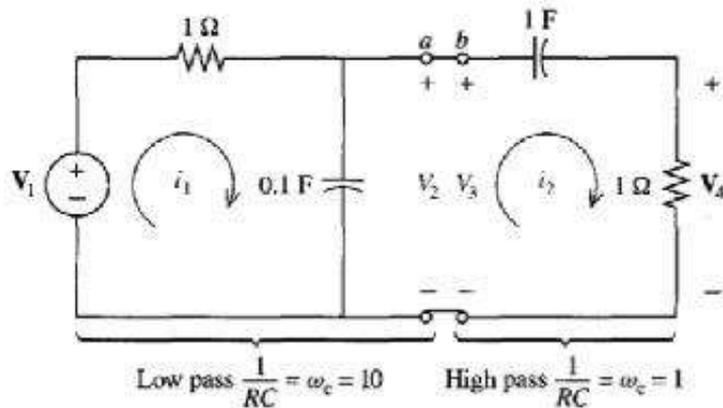
### Band Pass Filter (BPF)

Untuk membuat BPF dapat dilakukan dengan menggabungkan LPF + HPF atau HPF + LPF. Diharapkan rangkaian berikutnya memiliki beban yang lebih besar artinya :

- Bila dipilih LPF + HPF maka beban (impedansi) HPF harus lebih besar dibandingkan dengan LPF.
- Bila dipilih HPF + LPF maka beban (impedansi) LPF harus lebih besar dibandingkan dengan HPF.

Contoh

Misalnya kita hendak mengkaskade dua buah filter yaitu filter LP dengan filter HP dengan frekuensi *cut-off*nya sebesar  $\omega_{cLP} = 10$  rad/s dan  $\omega_{cHP} = 1$  rad/s, seperti ditunjukkan pada gambar. Dengan kaskade ini akan menghasilkan filter BP dengan rentang  $\omega_{low} = 1$  rad/s dan  $\omega_{up} = 10$  rad/s.  $R_1 = 1\Omega$ ;  $C_1 = 0,1F$ ;  $C_2 = 1F$  dan  $R_2 = 1\Omega$



Gambar VIII.19 Contoh rangkaian BPF

Jawab:

Dari loop 1 :  $V_1 + i_1 R_1 + i_1 \frac{1}{j\omega C_1} - i_2 \frac{1}{j\omega C_1} = 0$

Dari loop 2 :  $i_2 \frac{1}{j\omega C_1} + i_2 \frac{1}{j\omega C_2} + i_2 R_2 - i_1 \frac{1}{j\omega C_1} = 0$

Kedua pers. diatas dapat disederhanakan sebagai

$$\frac{V_1}{\omega} + \frac{R_1}{\omega} - \frac{1}{\omega^2} = 0$$

$$\frac{1}{\omega^2} + \frac{R_2}{\omega} - \frac{1}{\omega^2} = 0$$

Dengan eliminasi dari system persamaan ini diperoleh

$$\frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega}$$

Atau:

$$\frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \frac{\omega}{\omega}$$

Sehingga Gain Filter ini diperoleh dari — —

Jika diperhatikan bahwa gain ini lebih kecil dibandingkan jika dihitung berupa perkalian gain  $\rightarrow G \neq (\text{Gain}_{\text{lowpass}} * \text{Gain}_{\text{highpass}})$ .

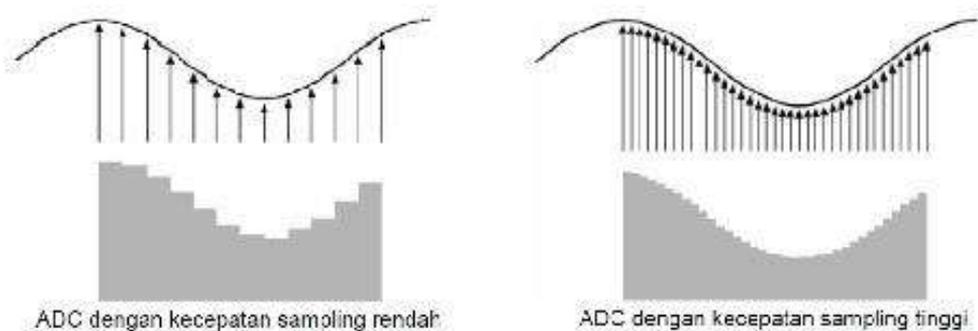
### VIII.2.3 A/D CONVERTER

ADC (Analog to Digital Converter) adalah sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran analog menjadi besaran digital. ADC banyak digunakan sebagai Pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/ pengujian. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistim komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/ berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistim digital (komputer).

ADC memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi.

#### **Kecepatan sampling**

**Kecepatan sampling suatu ADC** menyatakan “seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu”. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam *sample per second (SPS)*.



Gambar VIII.20 Ilustrasi kecepatan sampling ADC

### Resolusi ADC

**Resolusi ADC** menentukan “ketelitian nilai hasil konversi ADC”. Sebagai contoh: ADC 8 bit akan memiliki output 8 bit data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 255 ( $2^n - 1$ ) nilai diskrit. ADC 12 bit memiliki 12 bit output data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit. Dari contoh diatas ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit.

### Prinsip kerja ADC

**Prinsip kerja ADC** adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi. Sebagai contoh, bila tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt, rasio input terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar  $60\% \times 255 = 153$  (bentuk decimal) atau 10011001 (bentuk biner).

$$\begin{aligned} \text{Signal} &= (\text{sample}/\text{max\_value}) * \text{reference\_voltage} \\ &= (153/255) * 5 \end{aligned}$$

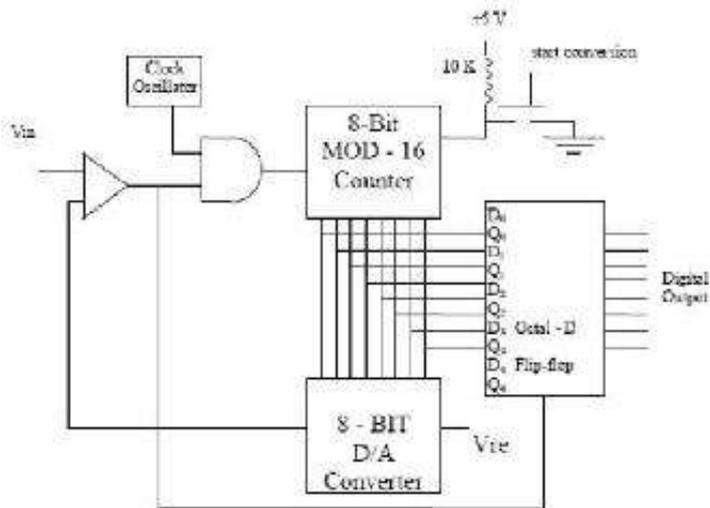
= 3 Volts

Jenis Analog to digital Converter (ADC)

ADC Simultan

**ADC Simultan** atau biasa disebut **flash converter** atau **parallel converter**. Input analog  $V_i$  yang akan diubah ke bentuk digital diberikan secara simultan pada sisi + pada komparator tersebut, dan input pada sisi - tergantung pada ukuran bit converter. Ketika  $V_i$  melebihi tegangan input - dari suatu komparator, maka output komparator adalah high, sebaliknya akan memberikan output low.

#### VIII.2.4 Counter Ramp ADC



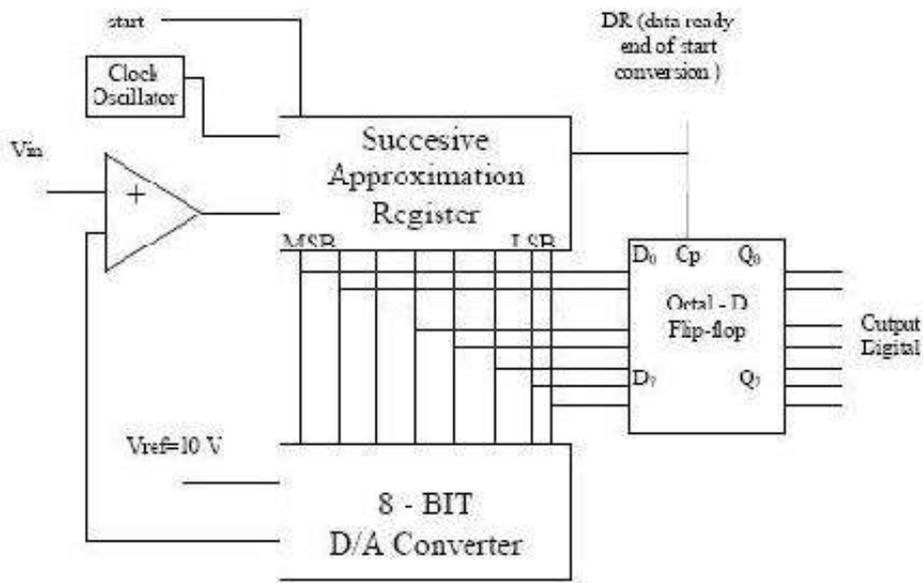
Gambar 19. Diagram counter ramp ADC

Pada gambar diatas, ditunjukkan blok diagram Counter Ramp ADC didalamnya terdapat DAC yang diberi masukan dari counter, masukan counter dari sumber Clock dimana sumber Clock dikontrol dengan cara meng AND kan dengan keluaran Comparator. Comparator membandingkan antara tegangan masukan analog dengan tegangan keluaran DAC, apabila tegangan masukan yang akan dikonversi belum

sama dengan tegangan keluaran dari DAC maka keluaran comparator = 1 sehingga Clock dapat memberi masukan counter dan hitungan counter naik.

Kelemahan dari counter tersebut adalah lama, karena harus melakukan trace mulai dari 0000 hingga mencapai tegangan yang sama sehingga butuh waktu.

### VIII.2.5 SAR (Successive Approximation Register) ADC



Gambar 20. Diagram SAR ADC

Pada gambar diatas ditunjukkan diagram ADC jenis SAR, Yaitu dengan memakai konfigurasi yang hampir sama dengan counter ramp tetapi dalam melakukan trace dengan cara tracking dengan mengeluarkan kombinasi bit MSB = 1 =====> 1000 0000. Apabila belum sama (kurang dari tegangan analog input maka bit MSB berikutnya = 1 =====>1100 0000) dan apabila tegangan analog input ternyata lebih kecil dari tegangan yang dihasilkan DAC maka langkah berikutnya menurunkan kombinasi bit =====> 10100000.

Untuk mempermudah pengertian dari metode ini diberikan contoh seperti pada timing diagram gambar 6 Misal diberi tegangan analog input sebesar 6,84 volt dan tegangan referensi ADC 10 volt sehingga apabila keluaran tegangan sbb :

Jika D7 = 1 Vout = 5 volt

Jika D6 = 1 Vout = 2,5 volt

Jika D5 = 1 Vout = 1,25 volt

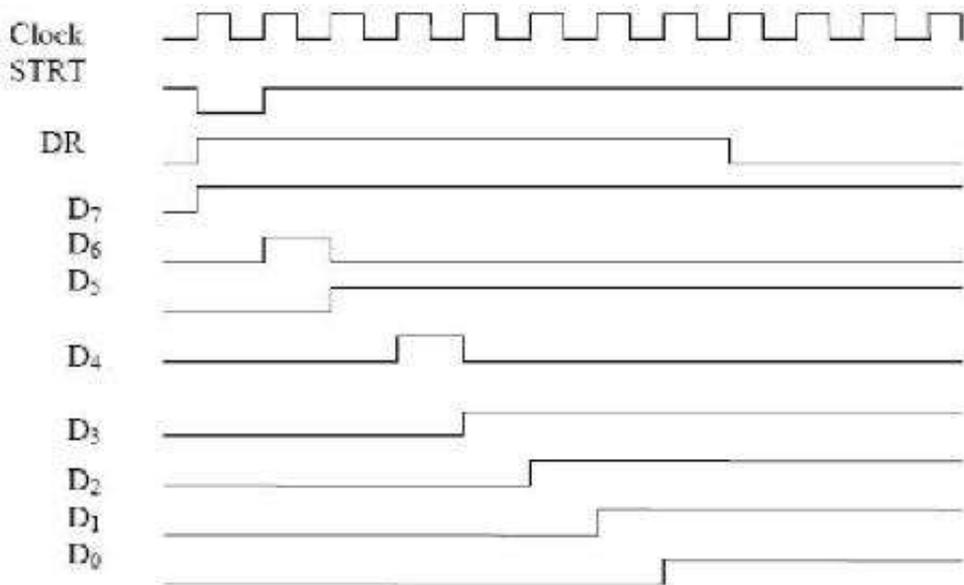
Jika D4 = 1 Vout = 0,625 volt

Jika D3 = 1 Vout = 0,3125 volt

Jika D2 = 1 Vout = 0,1625 volt

Jika D1 = 1 Vout = 0,078125 volt

Jika D0 = 1 Vout = 0,0390625 volt



Gambar 21. Timing diagram urutan trace SAR ADC

Setelah diberikan sinyal start maka konversi dimulai dengan memberikan kombinasi 1000 0000 ternyata menghasilkan tegangan 5 volt dimana masih kurang dari tegangan input 6,84 volt, kombinasi berubah menjadi 1100 0000 sehingga Vout = 7,5 volt dan ternyata lebih besar dari 6,84

sehingga kombinasi menjadi 1010 0000 tegangan  $V_{out} = 6,25$  volt kombinasi naik lagi 1011 0000 demikian seterusnya hingga mencapai tegangan 6,8359 volt dan membutuhkan hanya 8 clock.

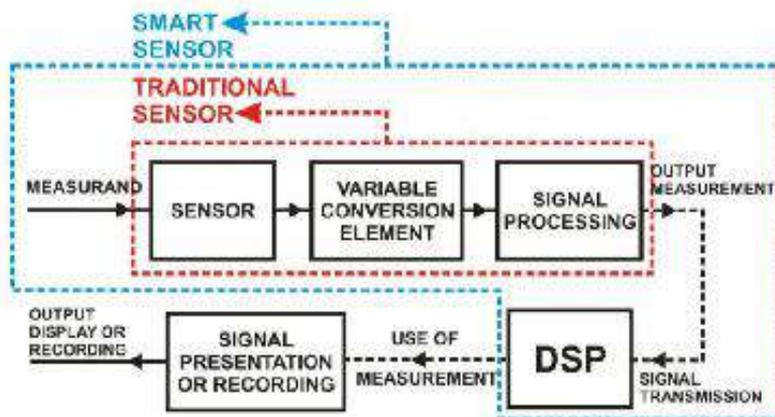
## **REFERENSI**

- Bruce Carter and Thomas R. Brown. 2016, Handbook Of Operational Amplifier Applications. Texas
- Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith. 2010. Microelectronic Circuits Sedra Smith, 7th edition. United States of America
- Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky. 2012. Electronic Devices and Circuit Theory, 11th Edition. Prentice Hall
- Richard Blocher, Dipl. Phys. 2003. Dasar elektronika. Yogyakarta.
- Dr. Ir. Thomns Sri Widode DEA, Dipl. Ing. 2002. Elektronika Dasar. Jakarta
- Curtis D. Jhonson. 2014. Process Control Instrumentation Technolog, 8<sup>th</sup> edition. Pearson Education Limited
- Azmi Rizki Lubis. 2017. Efektivitas Penggunaan Filter Pasif LC dalam Mengurangi Harmonik Arus. Journal of Electrical Technology, Vol. 2, No. 3
- Sagita, dkk. 2013. Pengkonversian Data Analog Menjadi Data Digital dan Data Digital Menjadi Data Analog Menggunakan Interface PPI 8255 Dengan Bahasa Pemrograman Borland Delphi 5.0. Faktor Exacta 6(2)
- Satria Gunawan Zain, dkk. 2010. Penerapan Low Pass Filter Untuk Memperbaiki Hasil Estimasi Sudut Pada Sistem Radio Tracking Roket. Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 8, No. 1

Nasrun Hariyanto, dkk. 2016. Perancangan dan Realisasi Converter Satu Fasa Untuk Baterai Menjalankan Motor AC 1 Fasa 125 Watt. Jurnal Reka Elkomika. Vol.4, N

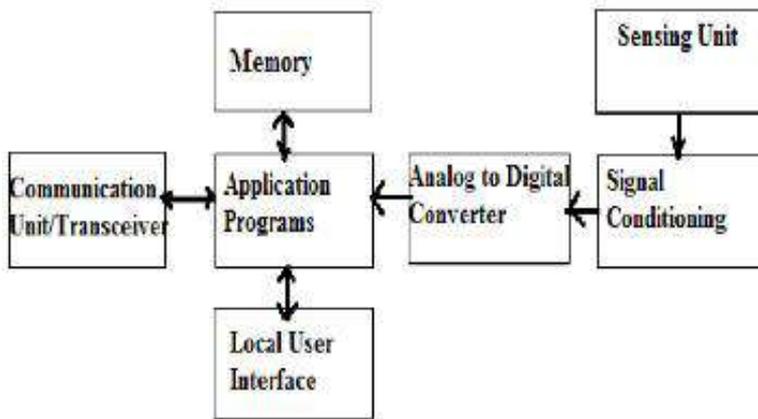
## SMART SENSOR DAN WIRELESS SENSOR NETWORK

Perangkat instrument yang dapat mengukur kondisi fisik serta mampu melakukan on board processing seperti : Operasi hitungan, penyaringan sinyal, komunikasi dua arah, pengambilan keputusan. Jadi perbedaan terpenting dari smart sensor dan sensor biasa terletak pada “kecerdasan” sensor tersebut dalam mengolah data/informasi yang didapat. Sebelum adanya smart sensor, sensor tradisional/sensor biasa hanya digunakan untuk mengukur besaran fisik yang kemudian baru diukur dengan alat ukur.



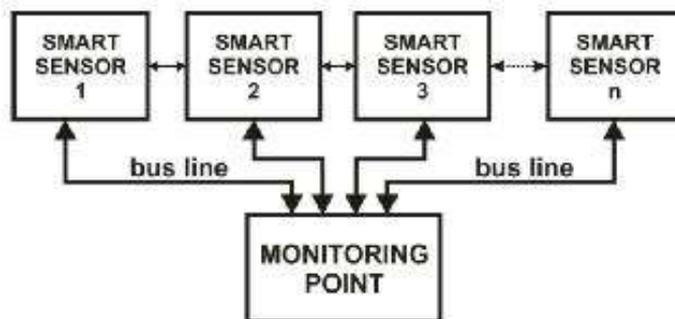
Gambar IX.1 Konsep Smart Sensor

Setelah adanya penemuan mikroprosesor perkembangan smart sensor menjadi sangat cepat dan pesat, dikarenakan teknologi pada mikroprosesor sangat canggih yang didalamnya terdapat beberapa fitur seperti Analog to Digital Converter sehingga besaran yang dibaca oleh sensor yang berupa analog dapat diubah menjadi digital dan datanya dapat dengan mudah diolah oleh proses digital kemudian ditampilkan pada monitoring.



Gambar IX.2 Blok Diagram Smart Sensor

Pada aplikasinya smart sensor juga tidak hanya bisa digunakan secara sendirian, namun smart sensor juga dapat dihubungkan satu sama lain melalui jalur bus data dimana setiap smart sensor akan bekerja secara independen dan dapat saling berkomunikasi satu sama lain. Ilustrasi dibawah ini menunjukkan bagaimana sistem smart sensor yang saling berhubungan dan membentuk sebuah jaringan yang disebut dengan Smart Sensor Sistem.



Gambar IX.3 Smart Sensor yang terkoneksi

Keunggulan dari Smart Sensor diantaranya:

1. Karena *smart sensor* mengambil peran penting dalam sistem kontrol dan pengukuran salah satunya adalah mengkondisikan sinyal maka *smart*

*sensor* dapat mengurangi beban kerja pada sistem kontrol utama sehingga dapat mempercepat operasi sistem.

2. Keluaran pengukuran dari *smart sensor* merupakan sinyal dengan format digital sehingga lebih terjamin keakuratannya dan tahan terhadap *noise* / gangguan – gangguan seperti pada sinyal analog.

3. Sebuah *smart sensor* dapat mengukur dan mengontrol lebih dari sebuah proses *variable*.

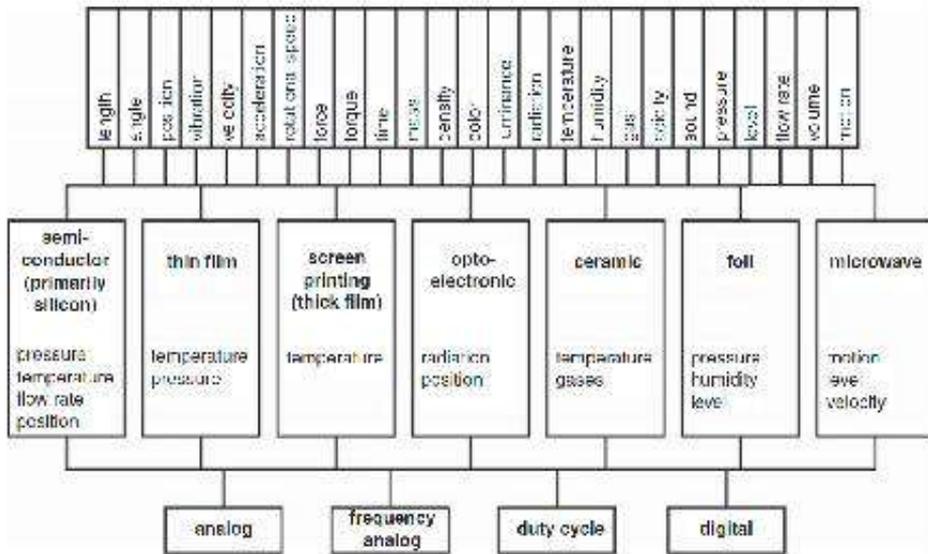
4. Kalibrasi pada *smart sensor* lebih mudah dilakukan karena hanya mengubah pada bagian *central processing unit* (CPU) dalam hal ini biasanya mikroprosesor.

Kekurangan Smart Sensor :

1. Ketika mengupgrade *smart sensor*, kita harus melakukan *mixing* ulang ketika kita menambah komponen atau mengganti komponen pada *smart sensor*.

2. Ketika terjadi kegagalan ataupun error komunikasi pada bus, data yang didapatkan tidak akan dapat digunakan.

Gambar dibawah ini menunjukkan banyak sekali material yang dapat digunakan untuk membuat sebuah sensor.



Gambar IX.4 Berbagai Jenis Sensor

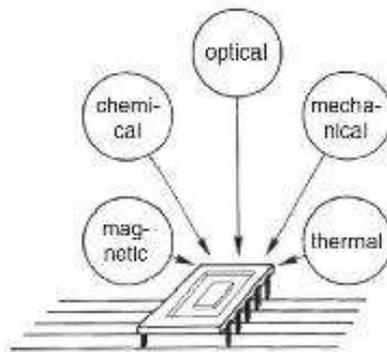
Seperti gambar diatas Semikonduktor adalah material yang paling populer dibanding yang lainnya untuk dijadikan sebuah sensor. Hal tersebut dikarenakan oleh beberapa hal yaitu struktur kristal stabil semikonduktor, standarisasi dalam fabrikasi massal sedang diperbaiki untuk meningkatkan mutu menggunakan semikonduktor sebagai material pembuatan sebuah sensor, dan harganya yang rendah

## IX.1 Integrated Smart Sensor

Jika kita ingin membuat suatu alat atau piranti dengan menggunakan sensor tentu kita akan mempertimbangkan beberapa aspek seperti sensitivitas, accuracy, noise, ketepatan juga presisi atau tidaknya sensor yang akan kita pakai. Tentu tidak semua sensor dapat menguasai semua aspek tersebut karena setiap sensor memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

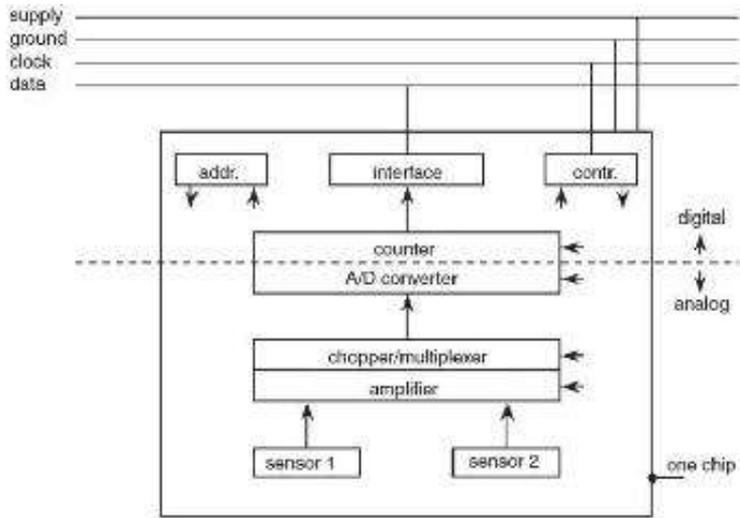
Sensor pintar atau Smart sensor dapat menguasai semua aspek tersebut menjadi satu kesatuan alat karena smart sensor terdiri dari beberapa sensor yang di gabung atau di kemas menjadi satu dan saling terintegritas antara sensor satu dengan yang lainnya. Dengan saling terintegritas, antar sensor yang digunakan akan semakin padu. Hasil itulah yang diinginkan sesuai dengan tujuan untuk membentuk suatu sensor yang mempunyai banyak kemampuan dan fungsi.

Jika kita ingin mendapatkan sebuah integrasi maka kita harus mengintegrasikan semua fungsi sensor ke antar muka bus dalam satu chip, artinya kita harus menggabungkan atau mengkalibrasi semua fungsi sensor tersebut ke dalam satu chip. Seperti pada contoh di bawah ini



Gambar IX.5 *Integrated Smart Sensor*

Smart Sensor yang terintegrasikan harus berisi setiap elemen yang diperlukan tiap node nya seperti contoh terdapat : satu atau beberapa sensor, amplifier, helikopter dan multiplexer, konverter AD, buffer, bus antar muka, alamat, dan kontrol dan manajemen daya. Yang di tunjukan pada gambar di bawah ini



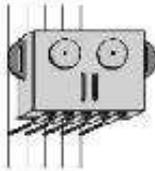
Gambar IX.6 Integrasi dari semua fungsi

Meskipun mengintegrasikan beberapa sensor akan memerlukan biaya yang mahal akan tetapi itu dapat di atasi dengan produksi massal juga menggunakan arsitektur modular sederhana. Akan tetapi, untuk mewujudkan semua fungsi sensor pada satu chip, kita harus mengintegrasikan dahulu keragaman sensor pada satu chip. Untuk tujuan ini di perlukan sebuah teknologi yang mampu mewujudkannya, teknologi mikro-struktur tiga dimensi yang kompatibel dengan IC sedang dikembangkan sekarang ini guna mendukung terwujudnya tujuan tersebut. berikut contohnya

Technology:	IC-compatible 3-D micro-structuring, Packaging	
Radiant:	Image Sensors, Integrated adaptive optics	
Mechanical:	Piezo-junction effects, Mechanical filters	
Thermal:	Thermopile sensors, Absolute kT/q sensor	
Electrical:	Capacitive sensors and actuators	
Magnetic:	Spinning current Hall-plate sensors, High temperature sensors	
Chemical:	DNA detectors, High Speed Screening	

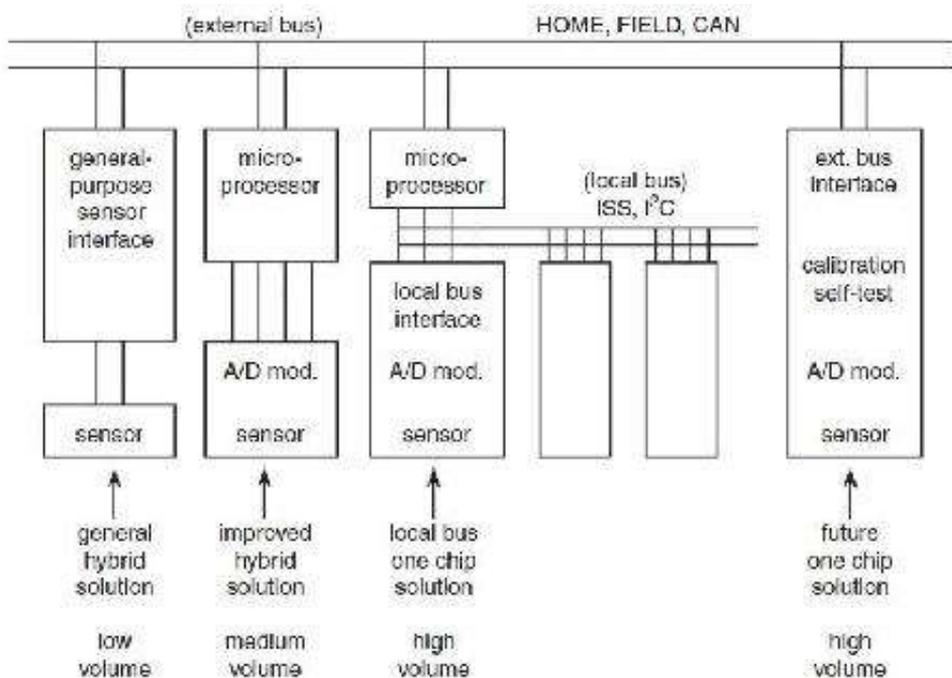
Gambar IX.7 Struktur mikro 3D

Berikut ini adalah contoh system smart sensor yang terintegrasi dengan system on chip interface electronic

Technology:	Low-power opamps, Low-power $\Sigma$ ADC's, Smart sensor bus system, Selftesting and Autocalibration	
• Medical:	DNA Sensors, Multi-blood sensor, Catheter locating system	
• Scientific:	Optical spectrometer, Adaptive mirror and LC systems, Wavefront sensor	
• Industrial:	Universal transducer interface, Capacitive fingerprint sensor, Thermal windmeter, Absolute temperature sensor, High-Speed Chemical Analyzer, Spinning Current Hall Sensors, Accelerometer	
• Computer Interface:	Capacitive human interfaces	

Gambar IX.8 Contoh sistem smart sensor terintegrasi on chip electronics

Dalam gambar XI.9 di gambarkan tentang evolusi system smart sensor yang terintegrasi dengan banyak perantara. Seperti beberapa sensor , microprocessor, ADC dll. Mimpi yang juga berhasil di capai adalah berhasilnya dalam mengintegrasikan system smart sensor dengan wireless power and communication atau bias di sebut jaringan nirkabel. Hingga sebuah konsep baru yang berhasil muncul ini dapat pendorong terciptanya beberapa model smart sensor (sensor) yang berhasil di kembangkan dalam dunia industry , perumahan , ladang , transportasi serta masih masih banyak lagi contohnya.



Gambar IX.9 Evolusi Integritas Smart Sensor

## IX.2 Perkembangan Smart Sensor

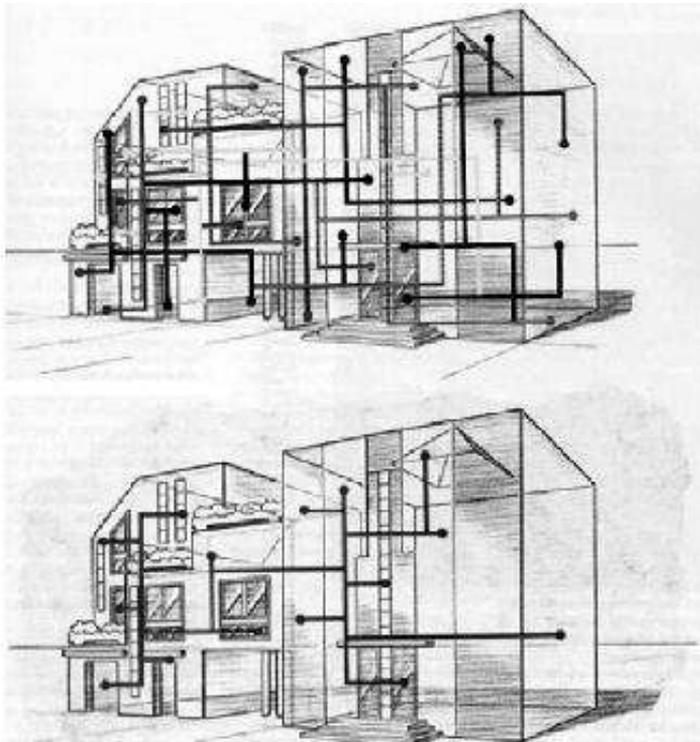
Dengan berhasil terciptanya smart sensor yang semakin canggih membuat beberapa orang untuk menciptakan banyak inovasi dengan sensor tersebut seperti contohnya

- Smart Home ( Rumah Pintar )
- Smart Car ( Mobil Pintar )
- Smart Domestic Appliance ( Peralatan Rumah Tangga Pintar )
- Smart Toys ( Mainan Pintar )

### IX.2.1 Smart Home (Rumah Pintar)

Di sebut Smart Home atau rumah pintar juga bias di sebut sebagai rumah masa depan karena di dalam rumah tersebut telah di lengkapi dengan banyak Sensor yang sudah saling terintegrasi. Semua sensor saling

terhubung dan terkoneksi tiap titiknya, bisa tersambung dengan jaringan nirkabel atau wireless wifi maupun dengan perangkat lainnya. Dalam smart mungkin terdapat beberapa sensor seperti sensor panas , sensor suhu , sensor suara ,sensor cahaya dan macam – macam sensor lainnya yang saling terintegrasi satu dengan yang lainnya.

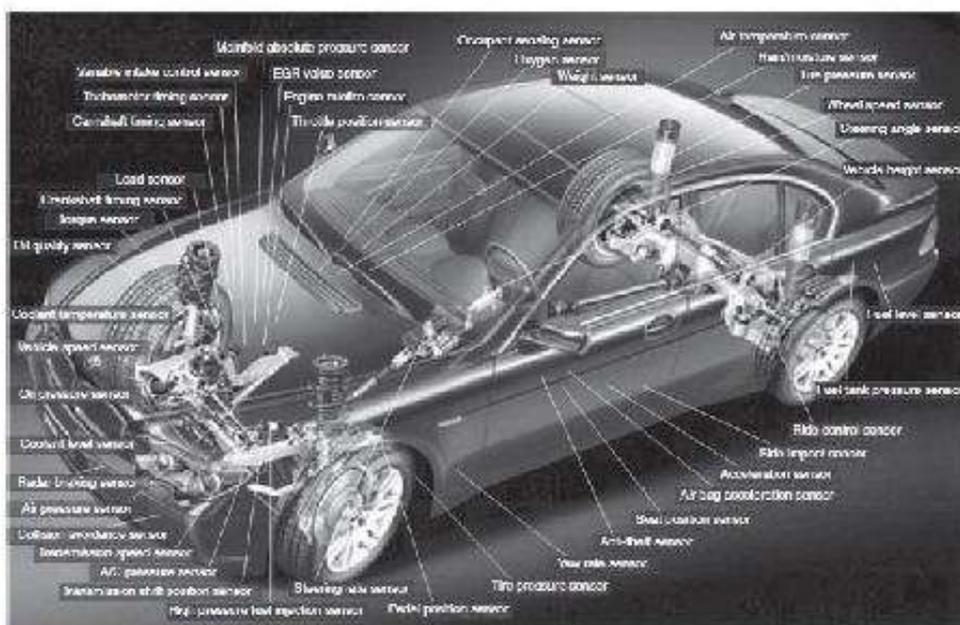


Gambar IX.10 Konstruksi Smart Home

### **IX.2.2 Peralatan Rumah Tangga Pintar**

Smart Cars atau mobil pintar adalah mobil yang di dalamnya terdapat banyak sekali sensor bahkan bias mencapai 40 sensor atau lebih. Mobil jenis tersebut adalah mobil modern yang di pameran pada tahun 2005 hingga sekarang ini. Tujuan dari banyaknya sensor dalam mobil modern adalah untuk mempermudah pengecekan mobil ketika mobil tersebut mengalami suatu kerusakan. Bahkan sekarang ini teknologi yang di kembangkan bukan hanya untuk mendeteksi kerusakan akan tetapi mobil dapat bergerak dengan

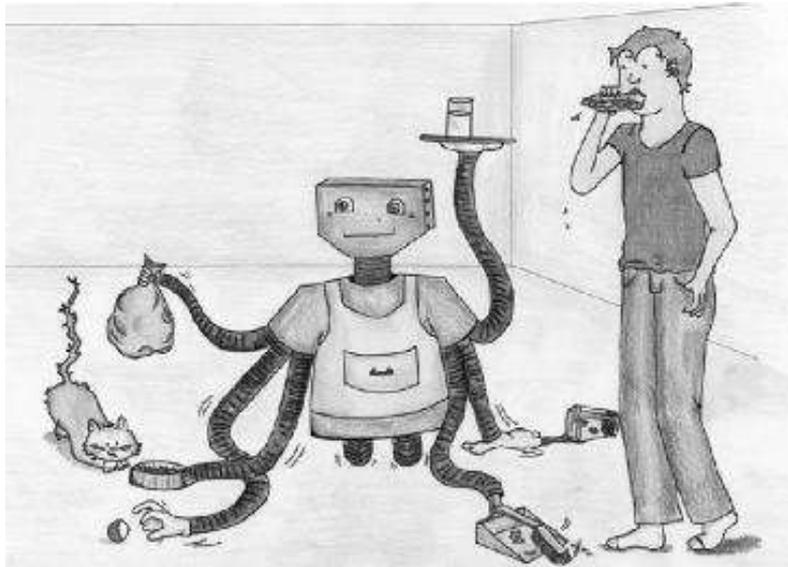
sendirinya atau memiliki program auto pilot sehingga tidak perlu lagi manusia untuk selalu duduk di depan kemudi untuk mengendalikan mobilnya. System auto pilot yang akan menggantikan peran manusia untuk mengemudikan mobil sehingga mobil akan berjalan dengan sendirinya dengan aman.



Gambar IX.11 sensor dalam mobil

### IX.2.3 Peralatan Rumah Tangga Pintar

Smart domestic appliance adalah peralatan rumah tangga pintar, peralatan rumah tangga pintar ini diciptakan dengan tujuan mempermudah pekerjaan manusia setiap harinya. Seperti mencuci piring , mencuci baju , membersihkan rumah dan pekerjaan rumah lainnya dapat di gantikan oleh robot maupun suatu alat lain yang telah di lengkapi dengan Smart Sensor di dalamnya.



Gambar IX.12 Rumah Tangga

#### IX.2.4 Smart Toys

Smart toys atau mainan pintar adalah mainan yang bias hidup ketika di beri sensor. Atau dengan kata lain kita merasa seperti berada di dalam dunia permainan tersebut ( dunia virtual ). Contoh smart toys yang telah ada pada saat ini adalah adanya teknologi VR yang di kembangkan oleh sony AIBO sensor yang terdapat pada sarung tangan Virtual-reality nya.

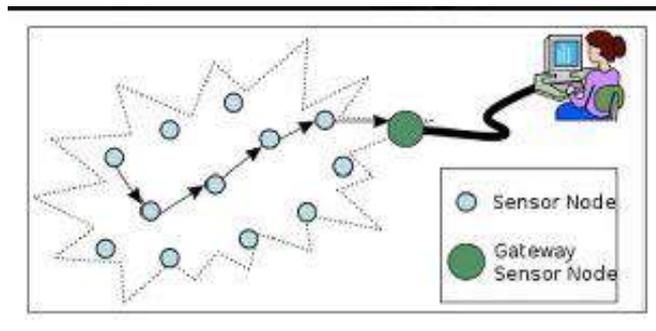


Gambar IX.13 Penggunaan Virtual Reality

### IX.3 Wireless Sensor Network

WSN memiliki wireless sensor node yang merupakan gabungan dari sensor interface, micro controller, memori, dan baterai dalam sebuah modul radio. *Wire sensor node* mampu menyebarkan data pemrosesan serta membagi data yang dikumpulkan menggunakan komunikasi radio. Perangkat WSN terhubung secara ad-hoc (dapat berkomunikasi secara langsung tanpa memerlukan infrastruktur seperti router) dan mendukung komunikasi multi-hop (memerlukan perangkat lain seperti router). Pada awal pembentukannya WSN digunakan oleh militer. Seiring berjalannya waktu WSN digunakan dalam berbagai bidang, seperti perdagangan, komunikasi sipil, dan lain sebagainya.

Pada bagian *ini* kita akan belajar tentang komponen penting pada WSN, arsitektur WSN, karakteristik, ancaman, dan aplikasi WSN.



Gambar IX.14 Wireles Sensor Node

#### IX.3.1 Komponen Utama pada Wireless Sensor Network (WSN)

Pertama kpmponen utama pada WSN. Di dalam Wireless Sensor Network terdapat 3 komponen utama untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Ketiga komponen tersebut antara lain sebagai berikut ini :

1. **Node Sensor** adalah perangkat dari WSN yang memiliki satu atau berbagai sensor terintegrasi yang berfungsi sebagai node yang melakukan proses sensor terhadap lingkungan dimana WSN

diimplementasikan untuk memperoleh sejumlah data yang kemudian dikirimkan ke server secara online melalui internet.

2. **Node Router** yaitu perangkat yang menghubungkan antar node. Node router pada WSN bekerja sebagaimana halnya router pada jaringan computer umumnya dan bertindak sebagai router yang bertugas untuk menentukan rute pengiriman alamat dari dari sumber asal ke tujuan.
3. **Node Gateway** (Sink Node) ini diibartakan sebagai pintu keluar masuknya paket data (baik dalam bentuk pesan, dokumen, file, atau lainnya) dari computer asal ke computer tujuan maupun sebaliknya. Data yang akan dikirim maupun diterima terlebih dahulu dikumpulkan pada node ini sebelum melakukan langkah pengiriman.

Node pada WSN sering disebut sebagai “mote”. Mote dilengkapi alat pemroses(CPU), memori, power supply, perangkat antar muka input/output, dan perangkat sensor. Gambar 2.0 merupakan susunan sebuah mote pada WSN, terlihat semua komponen diatur oleh sebuah controller yang dapat berupa sebuah CPU. Dan setiap komponen memerlukan energi untuk bekerja yang didapat dari power supply.

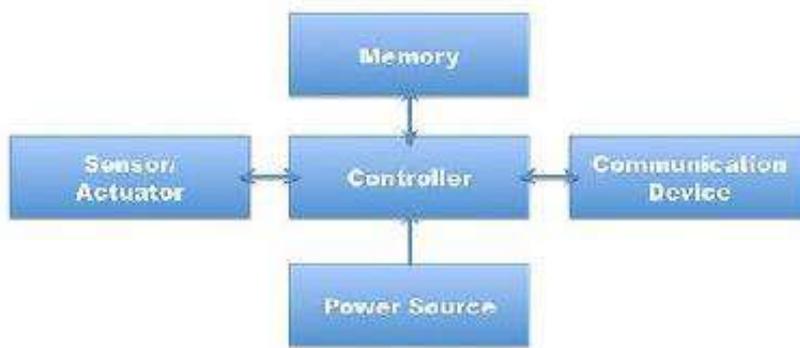
### **IX.3.2 Bagian-Bagian WSN**

Wireless Sensor Network (WSN) terbagi atas 5 (lima) bagian, yaitu

1. Transceiver berfungsi untuk menerima/mengirim data dengan menggunakan menggunakan protokol IEEE 802.15.4 atau IEEE 802.11b/g kepada devicelain.
2. Mikrokontroler, berfungsi untuk melakukan fungsi perhitungan, mengontrol dan memproses deviceyang terhubung dengan mikrokontroler.

3. Power source, berfungsi sebagai sumber energi bagi sistem wireless sensor secara keseluruhan.
4. External memory, berfungsi sebagai tambahan memory bagi sistem wireless sensor, pada dasarnya sebuah unit mikrokontroler memiliki unit memory sendiri.
5. Sensor, berfungsi untuk men-sensing besaran-besaran fisis yang hendak

diukur. Sensor adalah suatu alat yang mampu untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain, dalam hal ini adalah mengubah dari energi besaran yang diukur menjadi energi listrik yang kemudian diubah oleh ADC menjadi deretan pulsa terkuantisasi yang kemudian bisa dibaca oleh mikrokontroler.



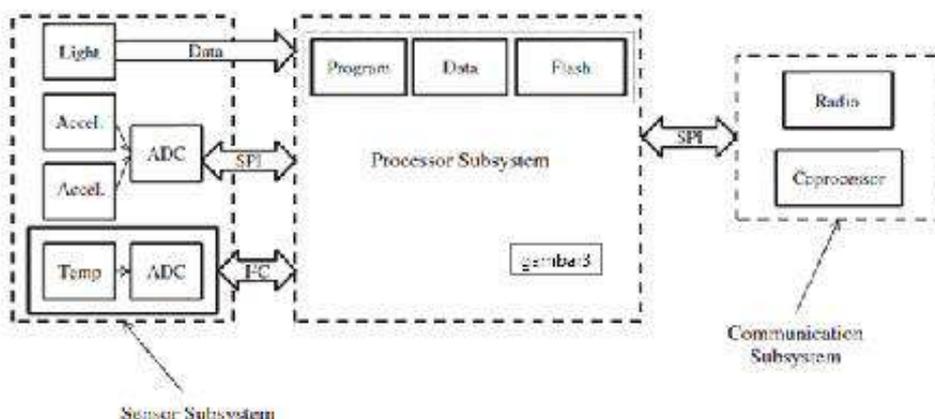
Gambar IX.15 Bagian-Bagian WSN

### IX.3.3 Arsitektur WSN

Setiap node WSN umumnya berisi sistem sensing, processing, communication dan power yang dapat diilustrasikan seperti pada gambar. Bagaimana menggabungkan ini adalah hal yang harus diperhatikan ketika kita melakukan perancangan. Sistem processor merupakan bagian sistem yang terpenting pada WSN yang dapat

mempengaruhi performance ataupun konsumsi energi. Beberapa pilihan untuk processor dapat memilih antara lain:

- Microcontroller
- Digital signal processor
- Application-specific IC
- Field programmable gate array



Gambar IX.16 Arsitektur WSN

### IX.3.4 Karakteristik

Karakteristik utama dari WSN termasuk

- Batasan konsumsi energi untuk node menggunakan baterai atau pemanenan energi . Contoh pemasok adalah ReVibe Energy dan Perpetuum
- Kemampuan untuk mengatasi kegagalan node ( ketahanan )
- Beberapa mobilitas node (untuk node yang sangat mobile lihat MWSN )
- Heterogenitas simpul
- Homogenitas simpul
- Skalabilitas untuk penyebaran skala besar
- Kemampuan untuk bertahan terhadap kondisi lingkungan yang keras

- Kemudahan penggunaan
- Desain [lintas lapisan](#)

Cross-layer menjadi area belajar yang penting untuk komunikasi nirkabel. Selain itu, pendekatan berlapis tradisional menyajikan tiga masalah utama:

1. Pendekatan berlapis tradisional tidak dapat berbagi informasi yang berbeda di antara lapisan yang berbeda, yang menyebabkan setiap lapisan tidak memiliki informasi yang lengkap. Pendekatan berlapis tradisional tidak dapat menjamin optimalisasi seluruh jaringan.
2. Pendekatan berlapis tradisional tidak memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan.
3. Karena gangguan antara pengguna yang berbeda, konflik akses, memudar, dan perubahan lingkungan dalam jaringan sensor nirkabel, pendekatan berlapis tradisional untuk jaringan kabel tidak berlaku untuk jaringan nirkabel.

Jadi cross-layer dapat digunakan untuk membuat modulasi optimal untuk meningkatkan kinerja transmisi, seperti data rate , efisiensi energi, QoS ( Quality of Service ), dll. Sensor node dapat dibayangkan sebagai komputer kecil yang sangat dasar dalam hal antarmuka dan komponennya. Mereka biasanya terdiri dari *unit pemrosesan* dengan daya komputasi terbatas dan memori terbatas, *sensor* atau MEMS (termasuk sirkuit pengkondisi spesifik), *perangkat komunikasi* (biasanya transceiver radio atau optik alternatif), dan sumber daya biasanya dalam bentuk baterai. Inklusi lain yang mungkin adalah modul pemanen energi, ASIC sekunder, dan mungkin antarmuka komunikasi sekunder (misalnya RS-232 atau USB ).

### **IX.3.4.1 Ancaman Keamanan dan Persyaratan dalam Jaringan Sensor Nirkabel**

Selain karakteristik dan pertimbangan yang disebutkan di atas, ancaman dan persyaratan keamanan juga penting untuk berbagai aplikasi jaringan sensor. Dalam beberapa tahun terakhir, di sana beberapa masalah keamanan di WSN telah diajukan. Di bagian ini, kami akan memperkenalkan beberapa ancaman keamanan dan persyaratan dalam WSN.

1. Serangan pasif, dalam serangan pasif (seperti serangan menguping), pengintai dapat secara tidak sengaja monitor pada saluran komunikasi antara dua node berkomunikasi untuk mengumpulkan dan menemukan informasi berharga tanpa mengganggu komunikasi .
2. Serangan aktif, serangan aktif (seperti serangan replikasi node, serangan sybil, serangan wormhole, dan serangan node yang dikompromikan) dapat diklasifikasikan lebih lanjut ke dalam dua kategori: serangan eksternal dan serangan internal. Dalam serangan eksternal (seperti serangan Sybil dan wormhole serangan). Sedangkan serangan internal (seperti replikasi node dan serangan yg dikompromikan)
  - Untuk serangan sybil, node sensor dapat secara tidak sah mengklaim beberapa ID secara langsung memalsukan ID palsu, atau meniru identitas hukum. Serangan berbahaya ini mungkin menyebabkan ancaman serius terhadap penyimpanan terdistribusi, algoritma routing, dan agregasi data.
  - Untuk serangan wormhole, node berbahaya dapat ditemukan dalam transmisi berbagai node yang sah sementara node yang sah tidak sendiri dalam transmisi jangkauan satu sama lain. Dengan demikian, node jahat dapat mengatur lalu lintas

kontrol antara node yang sah dan tidak ada tautan yang sebenarnya dikendalikan oleh node jahat.

- Untuk serangan replikasi node, ketika node sensor dikompromikan oleh penyerang, mereka dapat langsung menempatkan banyak replika dari node yang dikompromikan ini di berbagai area dalam jaringan. Dengan demikian, penyerang dapat menggunakan node yang dikompromikan ini menumbangkan fungsi jaringan, misalnya dengan menyuntikkan data akal palsu.
- Untuk serangan yang dikompromikan, karena ketiadaan tamper resistance di node sensor, penyerang dapat mengganggu node sensor dan menggunakannya untuk menjalin komunikasi saluran dengan sensor tanpa kompromi untuk meluncurkan serangan lain yang lebih serius dalam jaringan sensor.

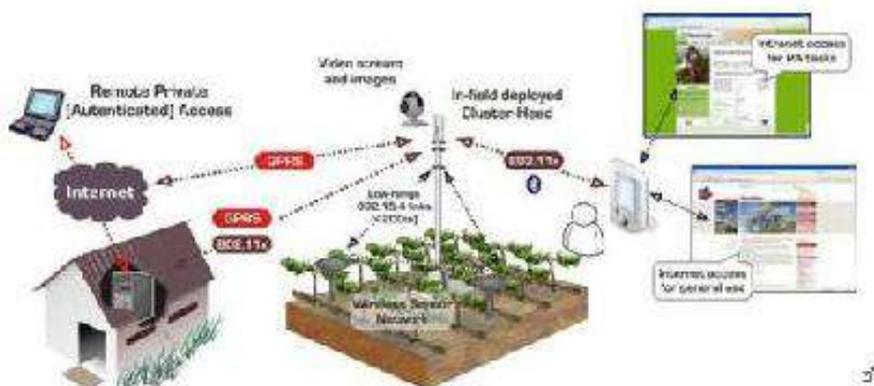
### **IX.3.5 Penerapan dan Penggunaan WSN**

Teknologi WSN banyak memberikan inspirasi dalam penerapan dan penggunaan untuk segala bidang. Beberapa penerapannya contohnya ;

- Monitoring lingkungan
- Target tracking
- Pipeline (Air, minyak, gas) tracking
- Monitoring pertanian
- Supply chain management
- Traffic management

Setiap node WSN akan mengirim data sensor ke suatu base dan hasil kumpulan data semuanya akan diolah sehingga ini akan memberikan

suatu informasi. Contoh penggunaan WSN pada bidang pertanian dapat dilihat pada gambar 2. Disini terlihat bahwa lingkungan pertanian dilakukan monitoring melalui WSN dan dapat diakses melalui internet baik browser maupun mobile device.



Gambar IX.17 Penerapan WSN Pada Smart Farm

## REFERENSI

- Middelhoek, S. and Audet, S.A. (1989). Silicon Sensors, Academic Press.  
Reproduced by permission of S.Middelhoek.
- Ohba, R. (1992). Intelligent Sensor Technology, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Centrum voor Micro-Elektronica (1993). Use of Sensors and Actuators in the German and Dutch Machine Building Industries. Reproduced by permission of Ton van Schadewijk.
- Titulaer, C. and de Kort, N. (1991). Kantoor van de Toekomst, Chriet Titulaer Producties, Houten. Reproduced by permission of Chriet Titulaer.

Georgoulas, Wireless Sensor Network Management and Functionality: An Overview Dimitrios; Blow, Keith. Wireless Sensor Network1. 4 (Nov 2009): 257-267.

Harka Putra Tama, Perancangan Dan Implementasi Wireless Sensor Network (Wsn) Berbasis Ieee 802.15.4 / Zigbee, Thesis, Universitas Komputer Indonesia, Bandung, 2010

Gerard Meijer. Michiel Pertijs. Kofi Makinwa, Smart Sensor Systems: Emerging Technologies and Applications (2014); 19-34

Meijer. Gerard, Smart Sensor Systems (2008); 18-36

## TENTANG PENULIS

Dr. Ing. Dhidik Prastiyanto, ST MT menyelesaikan S1 dan S2 Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada pada tahun 2000 dan 2005. Penulis mendapatkan gelar Doktor tahun 2015 dari Karlsruhe Institute of Technology Germany. Bidang yang ditekuninya adalah sinyal sistem, pengolahan isyarat dan teknologi gelombang mikro. Sejak tahun 2005 menjadi dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Khoirudin Fathoni, ST MT menyelesaikan S1 Teknik Elektro di Insitute Teknologi Telkom pada tahun 2011 dan S2 Teknik Elektro di Insitute Teknologi Bandung pada tahun 2014. Fathoni bergabung dengan menjadi dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang sejak tahun 2014. Keahlian yang ditekuninya adalab bidang sistem kendali..