



ETH3F3-Instrumentasi dan Pengukuran Elektrik

KONSEP PEMAHAMAN SENSOR DAN SENSOR SUHU

S1 Teknik Elektro – Fakultas Teknik Elektro



KONSEP DASAR SENSOR

Apa itu Sensor?

- **Sensor** berasal dari kata "**sense**" (merasakan atau mengindra)
- **Sensor** adalah sebuah perangkat menerima **sinyal** atau **rangsangan (stimulus)** dan merespon sinyal tersebut dengan mengonversinya menjadi **sinyal elektrik**.
- Proses **pengonversian** besaran fisis menjadi sinyal elektrik yang dapat diumpangkan ke instrumen elektronik disebut **transduksi**.



KONSEP DASAR SENSOR

Apa itu Sensor?

▶ **Rangsangan (stimulus)**

Adalah besaran, sifat (property), atau kondisi fisis yang diindera dan dikonversi menjadi sinyal elektrik (electrical signal).

Besaran, sifat (*property*)

Adalah kondisi fisis yang diterima oleh sensor berupa cahaya, temperatur, perpindahan, dll.

Jadi, bentuk fisis rangsangan itu dapat bersifat: mekanis, panas, magnetik, listrik, optik, kimia.

Sinyal elektrik

Adalah sinyal yang dapat **disalurkan**, **dikuatkan** dan **dimodifikasi** oleh piranti elektronik. ◀

Yang termasuk **sinyal elektrik adalah** tegangan, arus, muatan listrik, frekuensi, kapasitansi, resistansi, lebar pulsa, dsb.

Bentuk- Bentuk Energi

01

MEKANIK

02

MAGNETIK

03

RADIASI

04

PANAS

05

KIMIA

SENSOR, ELEMEN SENSOR, dan SISTEM SENSOR

Menurut Hesse dan Kuttner (1983) serta Scholz (1986) dalam buku *Sensors, A Comprehensive Survey*, Volume 1

SENSOR

- ✓ Elemen sensor yang telah dilengkapi dengan 'rumah' dan koneksi elektriknya

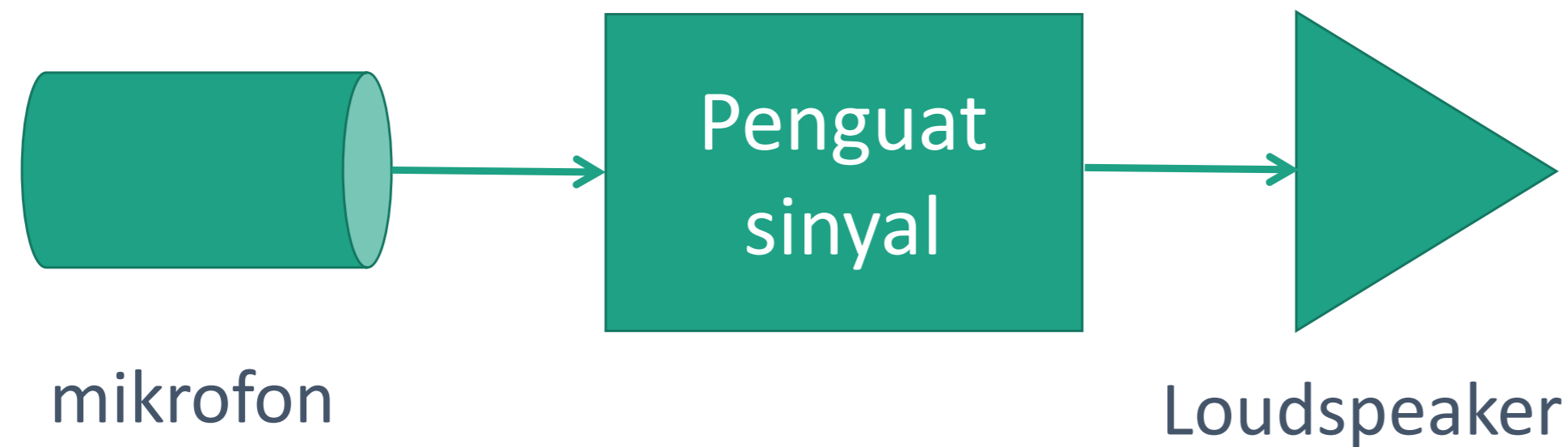
ELEMEN SENSOR

- ✓ Disebut juga sensor elementer atau elemen utama dari suatu sensor
- ✓ Contoh: strain gauge

SISTEM SENSOR

- ✓ Sensor yang telah dilengkapi dengan pemroses sinyal analog maupun digital

Transduser: Sensor & Aktuator



Dalam suatu sistem instrumentasi elektronik, transduser dapat dikategorikan sebagai sensor ataupun aktuator.

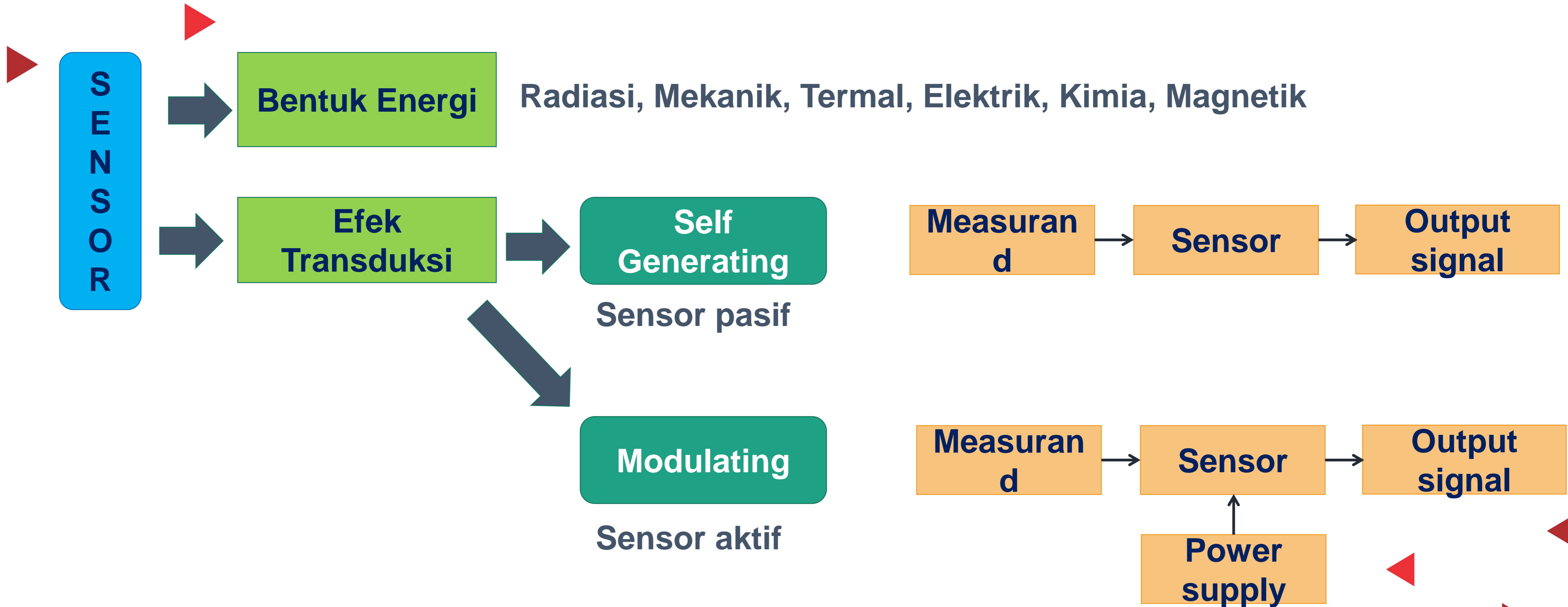
Sensor merupakan transduser masukan yang mengubah besaran fisis menjadi besaran elektris.

Contoh: mikrofon

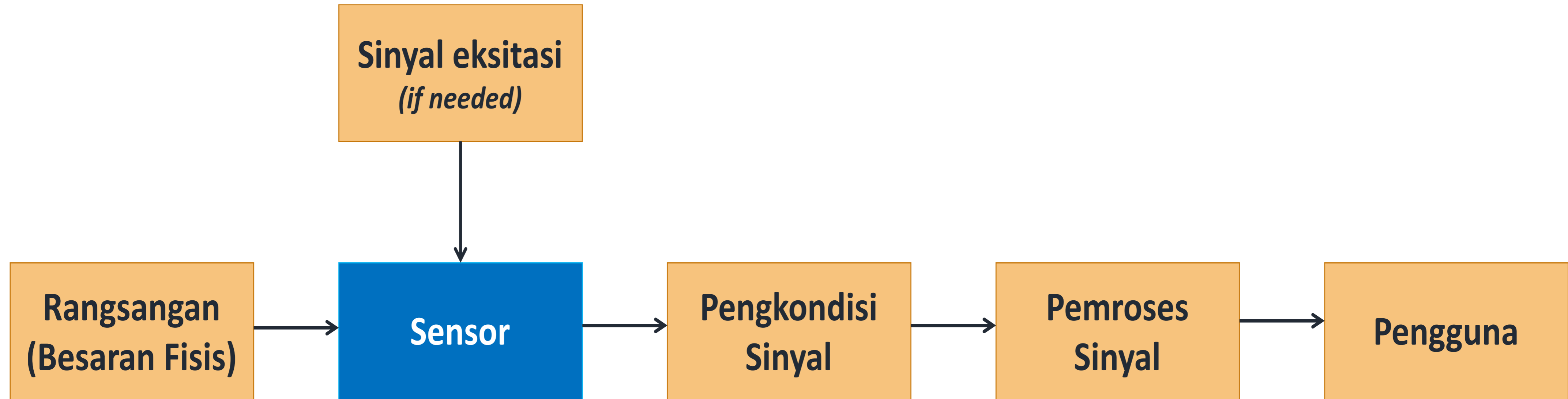
Aktuator merupakan transduser keluaran yang mengubah besaran elektrik menjadi besaran fisis dalam bentuk gerak.

Contoh: loudspeaker

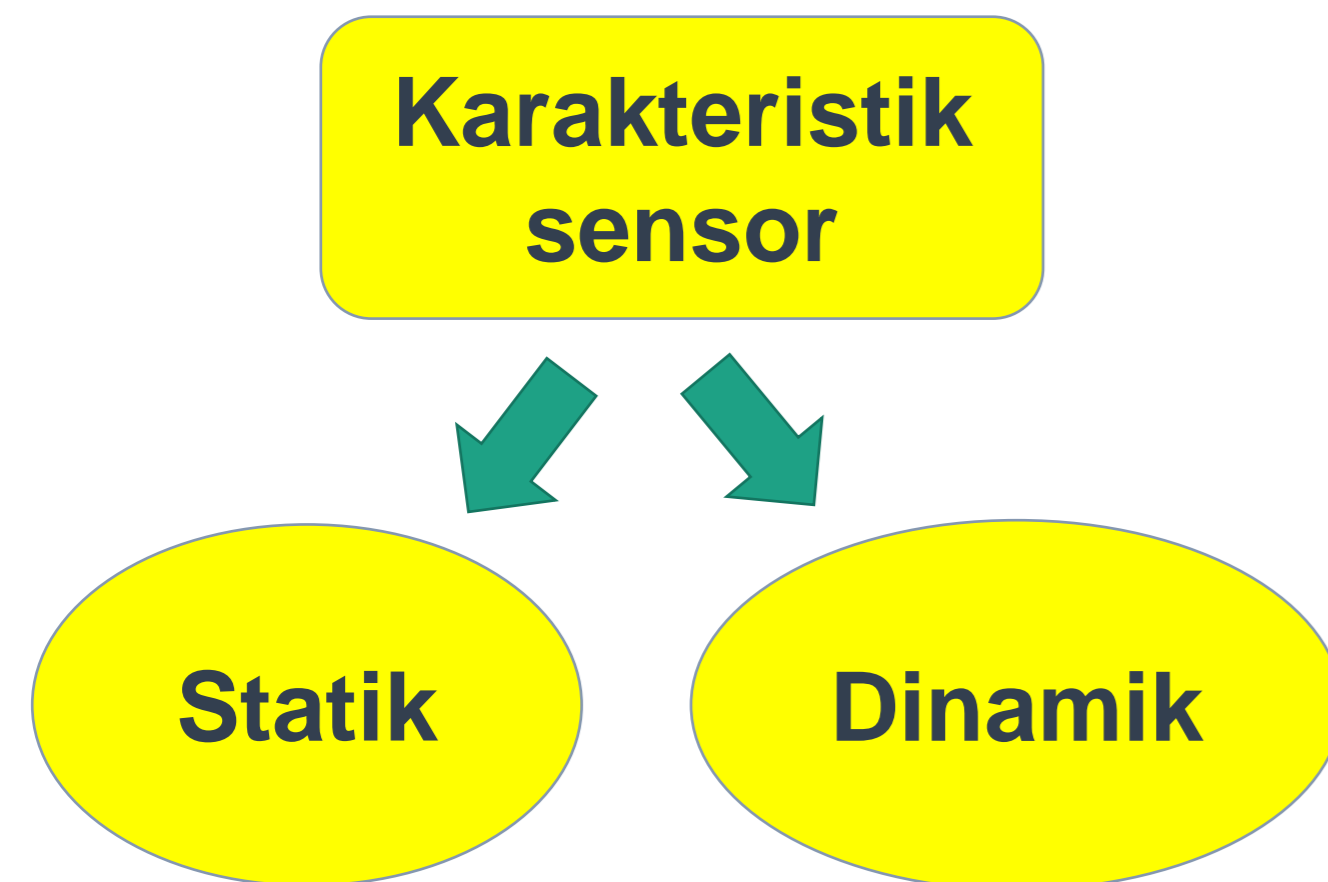
Efek Transduksi



Sensor & Sistem Instrumentasi Elektronik



KARAKTERISTIK SENSOR



STATIK

- Akurasi
- Presisi
- Diskriminasi
- Error
- Sensitivitas
- Linieritas
- Histeresis

DINAMIK

- Sistem orde nol
- Sistem orde satu
- Sistem orde dua

Karakteristik Statik sensor

- Akurasi
- Presisi
- Diskriminasi
- Error
- Sensitivitas
- Linieritas
- Histeresis

1

DISKRIMINASI → Resolusi dan Threshold

Perubahan minimal dari suatu input yang diperlukan untuk menghasilkan perubahan yang dapat dideteksi pada output.

2

LINIERITAS

Suatu sistem dikatakan linier jika hubungan input dan output merupakan suatu garis lurus

$$Output_{ideal} = K \times input + a$$

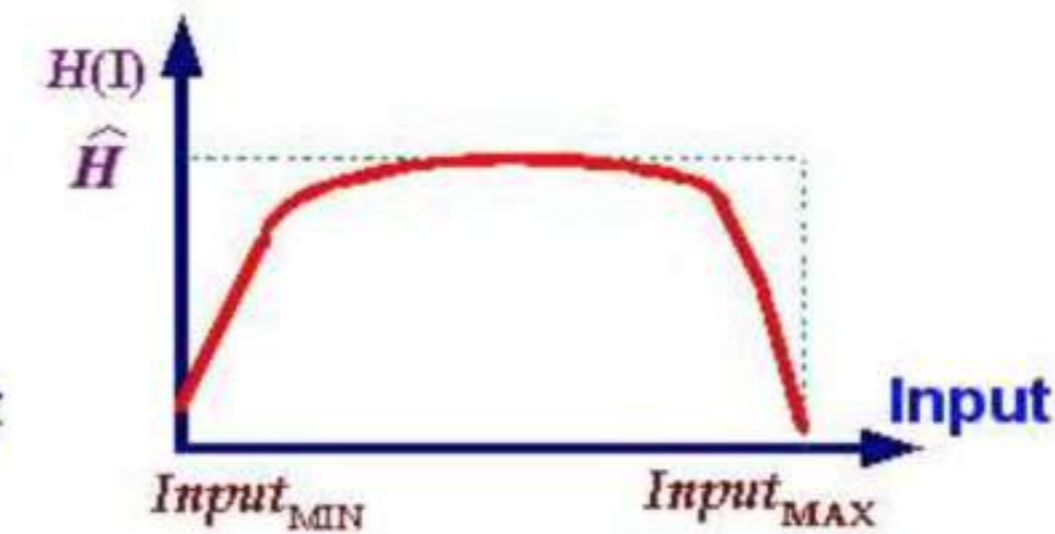
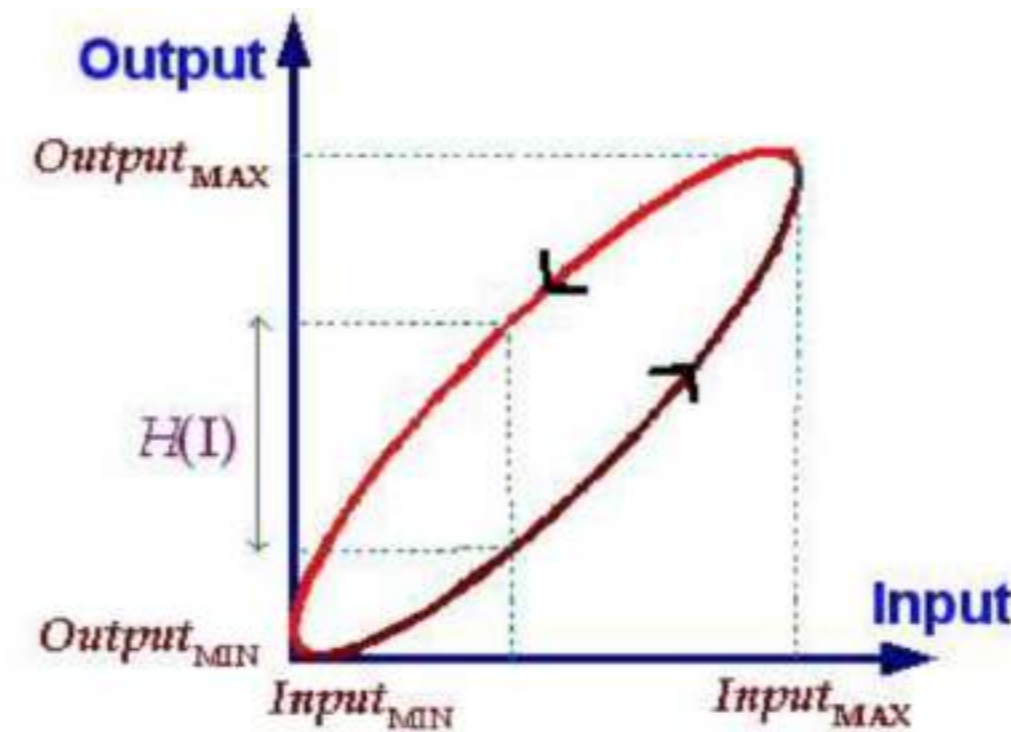
$$K = \frac{Output_{max} - Output_{min}}{Input_{max} - Input_{min}}$$

3

HISTERESIS

Perbedaan nilai *Output* pengukuran pada saat nilai *Input* pengukuran membesar (naik) dan mengecil (turun)

$$Hysteresis(I) = Out(in)_{\uparrow} - Out(in)_{\downarrow}$$



Karakteristik Dinamik sensor

- Respon sensor terhadap sebuah input variable berbeda dari yang ditunjukkan saat sinyal inputnya konstan.
- Penyebab karakteristik dinamik adalah adanya elemen penyimpanan energi.
 - Inersia: massa, induktansi
 - Kapasitansi: listrik, termal
- Karakteristik dinamik ditentukan dengan menganalisa respon sensor terhadap sejumlah bentuk gelombang input variable (impuls, step, ramp, sinusoidal, white noise, dll).
- Respon dinamik sensor, biasanya diasumsikan linier, dengan model persamaan

$$a_k \frac{d^k y(t)}{dt^k} + \dots + a_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = x(t)$$

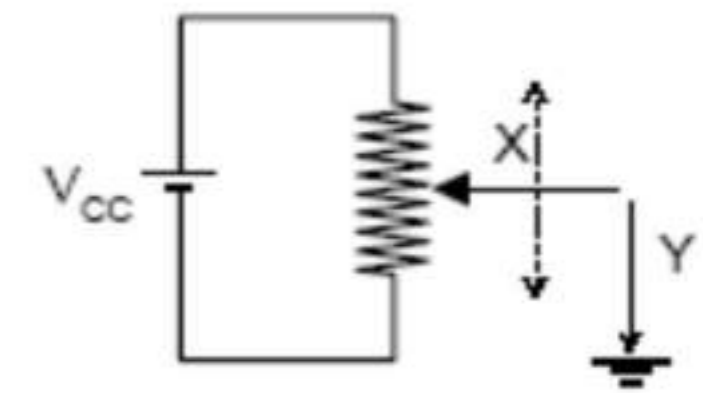
konstan:

1

SENSOR ORDE NOL $y(t) = k \cdot x(t)$

Respon Sensor orde nol:

- Tidak ada delay,
- Bandwith terbatas,
- Sensor hanya mengubah amplitudo dari sinyal input.

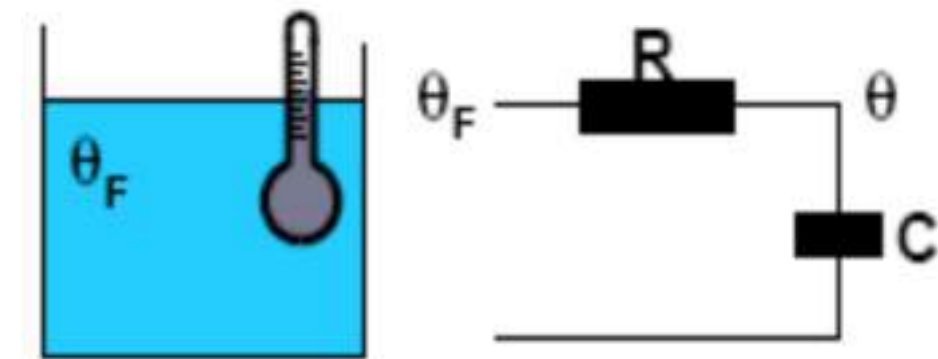


potensiometer

2

SENSOR ORDE SATU $x(t) = \frac{k}{\tau + 1}$

- Sensor orde satu memiliki satu elemen yang menyimpan energi dan satu lagi untuk mendisipasinya.
- Plot respon frekuensi adalah amplitudo terhadap fase.

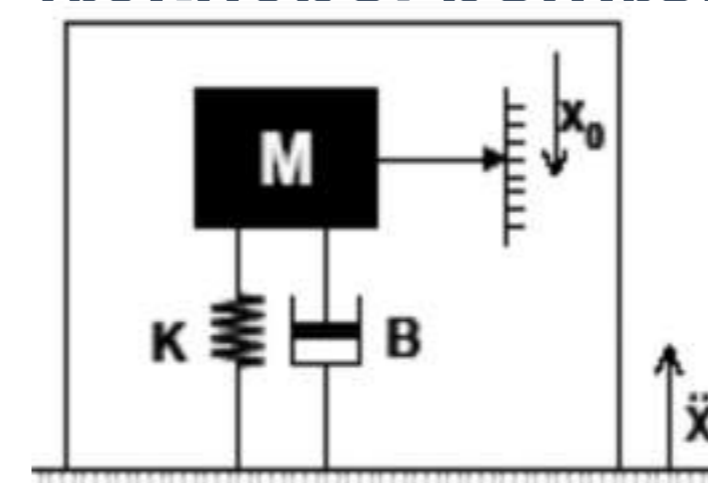


Termometer merkuri yang dicelupkan dalam liquid

3

SENSOR ORDE DUA $x(t) = \frac{1}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$

- Selain nilai static gain, k, persamaan sistem orde dua memiliki koefisien damping dan



Akselerometer yang damping oleh massa pegas



TAHAPAN PEMILIHAN DAN PENGGUNAAN SENSOR

1. Identifikasi besaran fisis yang akan diukur
2. Spesifikasi besaran fisis tersebut.
3. Pastikan keakuratan yang diperlukan, lamanya pengujian/pengukuran, dan perilaku siklus sensor atau faktor-faktor lainnya.
4. Pertimbangkan lingkungan dimana sensor akan ditempatkan.
5. Perhatikan interval dan tipe pengalibrasiannya untuk proses kalibrasi.



Wear and Aging

Efek ini mengakibatkan karakteristik sistem pengukuran seperti konstanta pengukuran ***K*** dan ***zero bias a*** berubah secara perlahan-lahan selama masa pakai.



Klasifikasi Sensor

Berdasarkan Fungsi dan Penggunaannya

SENSOR THERMAL

- ✓ Untuk mendeteksi gejala perubahan panas/ temperatur/ suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu
- ✓ Contoh: sensor termoresistif, sensor kontak termoelektrik, sensor junction P-N semikonduktor, sensor temperatur optik, sensor temperatur akustik, sensor temperatur piezoelektrik.

SENSOR MEKANIS

- ✓ Untuk mendeteksi perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran atau posisi, gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level dsb.
- ✓ Contoh: sensor okupansi dan gerak, sensor posisi, level dan perpindahan, sensor kecepatan dan akselerasi, sensor tekanan, dll.

SENSOR RADIASI

- ✓ Untuk mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias cahaya yang mengenai benda atau ruangan
- ✓ Contoh: sensor cahaya dan sensor radiasi.

SENSOR MAGNETIK

- ✓ Untuk mendeteksi pengaruh perubahan medan magnet seperti fluks, energi dan arah.
- ✓ Contoh: magnetodioda, magnetoresistif, fluxgate, dll.

SENSOR KIMIA

- ✓ Untuk mendeteksi jumlah suatu zat kimia.
- ✓ Contoh: sensor oksigen, pH, gas, dll.

Klasifikasi Sensor

Berdasarkan Kebutuhan Suplai Energi

1

SENSOR AKTIF

- Adalah sensor yang membutuhkan sumber energi tambahan untuk bekerja. Sumber energi luar biasanya disebut sinyal eksitasi dimana sinyal tersebut oleh sensor dimodifikasi untuk memproduksi sinyal output.
- Sensor ini bersifat mengubah besaran energi.
- Contoh: LiDAR (Deteksi cahaya dan jarak), sel fotokonduktif, termokopel, piezoelectric, fotodioda.

2

SENSOR PASIF

- Adalah sensor yang tidak membutuhkan sumber energi tambahan dan secara langsung mengeluarkan sinyal elektrik untuk merespon rangsangan.
- Sensor ini bersifat mengubah besaran listrik, seperti resistif, induktif, kopel induktif, dan kapasitif.
- Contoh: radiometer, fotografi film, microphone.

SENSOR SUHU

Sensor Termoresistif

DEFINISI

Sensor termoresistif adalah sensor resistif yang bekerja berdasarkan variasi kuantitas listrik (resistansi, tegangan atau arus) sebagai fungsi dari kuantitas termal (suhu, radiasi termal atau konduktansi termal).

EFEK TERMORESISTIF

Efek termoresistif terjadi sebagai suatu hasil dari perubahan dalam resistansi listrik material terhadap perubahan temperature dan efek ini secara luas digunakan dalam aplikasi sensor suhu.

APLIKASI

Digunakan di berbagai bidang seperti meteorologi, kedokteran dan monitoring dengan berbagai tujuan, seperti pemantauan suhu, indikasi, kontrol dan kompensasi.

TIPE SENSOR TERMORESISTIF

1

Resistive Temperature Detector (RTD)

RTD adalah sensor suhu presisi yang terbuat dari logam konduksi dengan kemurnian tinggi seperti platinum, tembaga, atau nikel dan memiliki hambatan listrik yang berubah sebagai fungsi suhu.

- Metal wire
- Thin film
- Silicon based

2

Thermal Resistor (Thermistor)

Thermistor adalah jenis resistor khusus yang mengubah ketahanan fisiknya ketika terkena perubahan suhu.

Thermistor umumnya terbuat dari bahan keramik seperti oksida nikel, mangan atau kobalt dilapisi kaca, yang membuatnya mudah rusak.

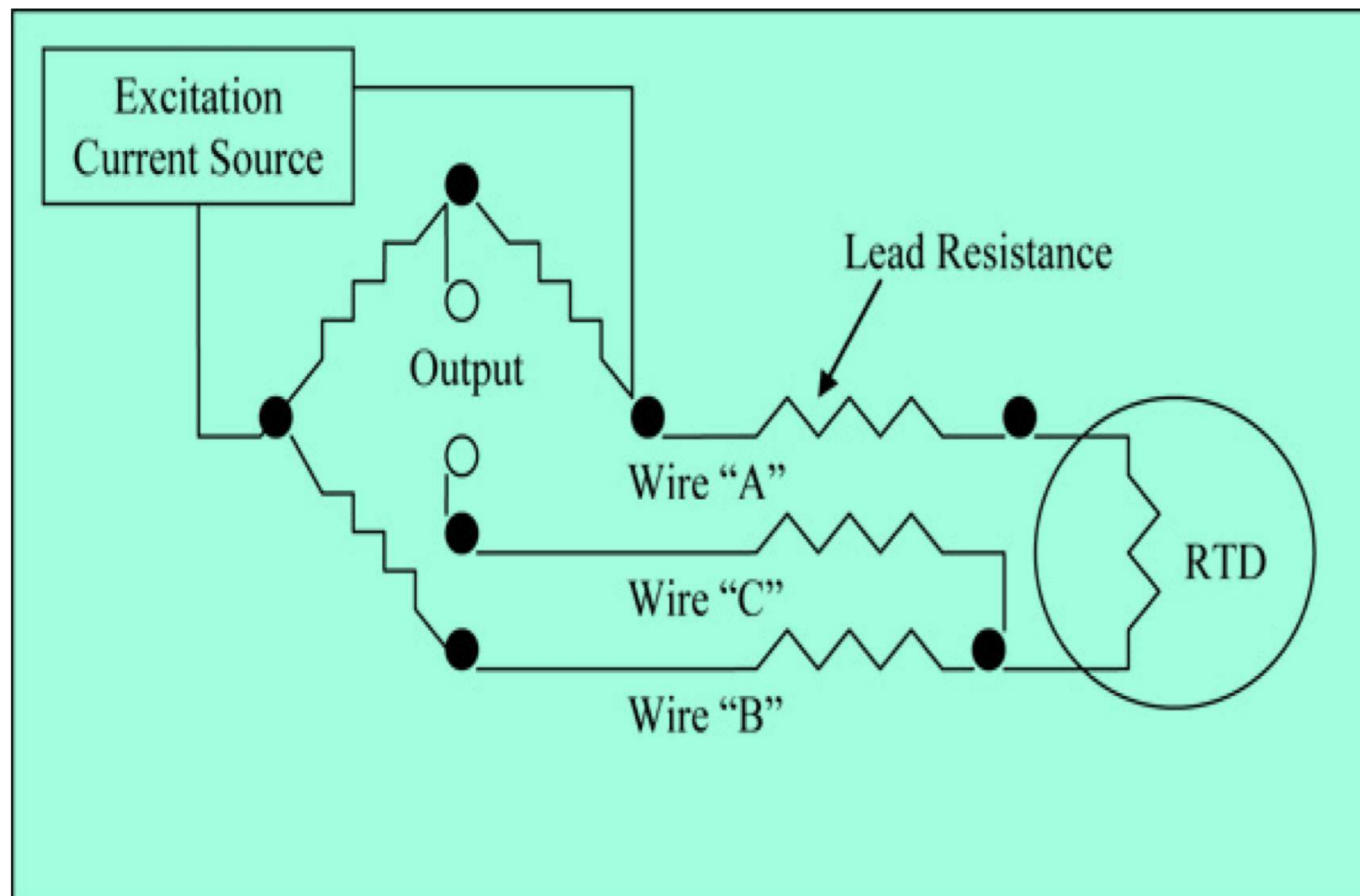
- Negative Temperature Coefficient (NTC)
- Positive Temperature Coefficient (PTC)



Resistive Temperature Detector (RTD)

- RTD terdiri dari film atau kawat yang dililit pada keramik atau kaca
- Bahan RTD yang paling umum → Platinum, karena stabilitas jangka panjangnya di udara, kisaran suhu yang luas, kemudahan pembuatan, dan biaya yang wajar.
- Contoh Pt100 dominan dengan rentang praktis dari 40240°C - 850°C , dan versi khusus tersedia hingga 1000°C .

Konfigurasi RTD dengan 3 kawat



Prinsip Kerja RTD

- RTD bekerja dengan korelasi dasar antara logam dan suhu.
- Ketika suhu logam meningkat, maka ketahanan logam terhadap aliran listrik pun meningkat. Demikian pula, ketika suhu elemen resistensi RTD meningkat, maka hambatan listrik pun meningkat.
- Elemen RTD biasanya ditentukan sesuai dengan resistensinya dalam ohm pada nol derajat Celcius.
- Spesifikasi RTD yang paling umum adalah 100 ohm, yang berarti bahwa pada 0 derajat Celcius, elemen RTD harus menunjukkan 100 ohm resistansi.
- Spesifikasi paling umum untuk aplikasi industri adalah tiga kawat RTD yang menggunakan rangkaian pengukuran jembatan Wheatstone untuk mengimbangi resistansi kawat timah.

Sumber Referensi: <http://www.contohURL.com>

SENSOR TERMORESISTIF

TERMISTOR

TERMINOLOGI

Termistor adalah resistor termal yang menunjukkan perubahan nilai resistansinya terhadap variasi temperatur.
Termistor termasuk perangkat resistif yang pasif.

PROPERTIES

- Termistor terbuat dari tipe semikonduktor keramik dengan teknologi *metal oxide*.
- Kebanyakan thermistor adalah berupa NTC, beberapa jenis PTC.
- PTC terbuat dari bahan khusus dan tidak umum.

JENIS SENSOR TERMISTOR

1 Negative Temperature Coefficient (NTC)



2 Positive Temperature Coefficient (PTC)



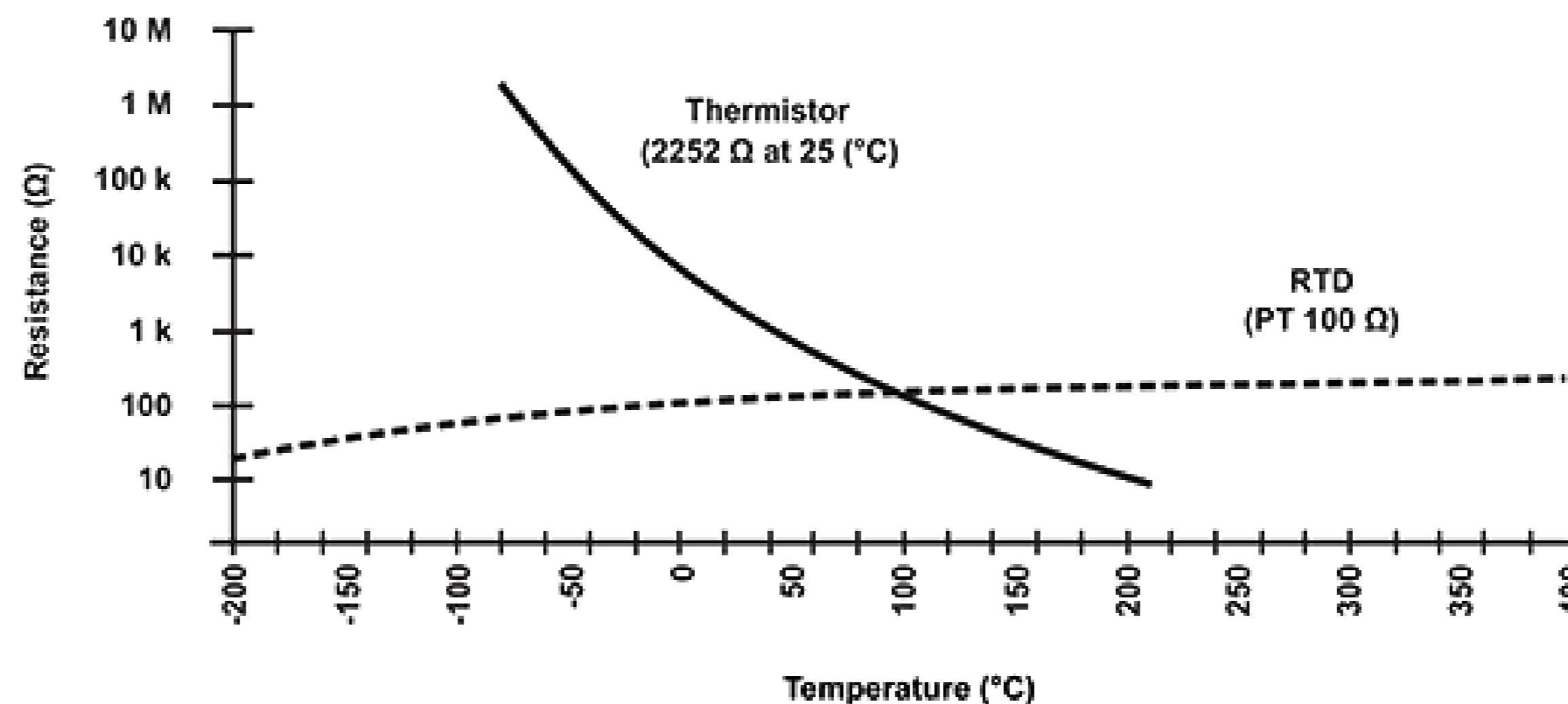
Nama Komponen	Gambar	Simbol
Thermistor PTC		
Thermistor NTC		

1

Negative Temperature Coefficient (NTC)



- Termistor NTC adalah resistor termal non-linier yang resistansinya menunjukkan sebuah penurunan yang besar, presisi, dan dapat diprediksi saat suhu inti resistor meningkat pada kisaran suhu pengoperasiannya.
- Tidak seperti RTD yang terbuat dari logam, termistor NTC umumnya terbuat dari keramik atau polimer.
- Self-heating effect, atau fenomena yang terjadi setiap kali ada arus yang mengalir melalui termistor NTC.
- Termistor NTC memiliki kemiringan suhu yang jauh lebih curam dibandingkan dengan RTD platinum → sensitivitas suhu NTC lebih baik.



1

Negative Temperature Coefficient (NTC)

Perbandingan NTC dengan sensor termal lain

□ Kelebihan:

- NTC memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan RTD
- Respons lebih cepat
- Resistensi yang lebih besar terhadap guncangan dan getaran
- Biaya lebih rendah.
- Dibandingkan dengan termokopel, sensitivitas, stabilitas dan akurasi lebih besar pada suhu rendah.

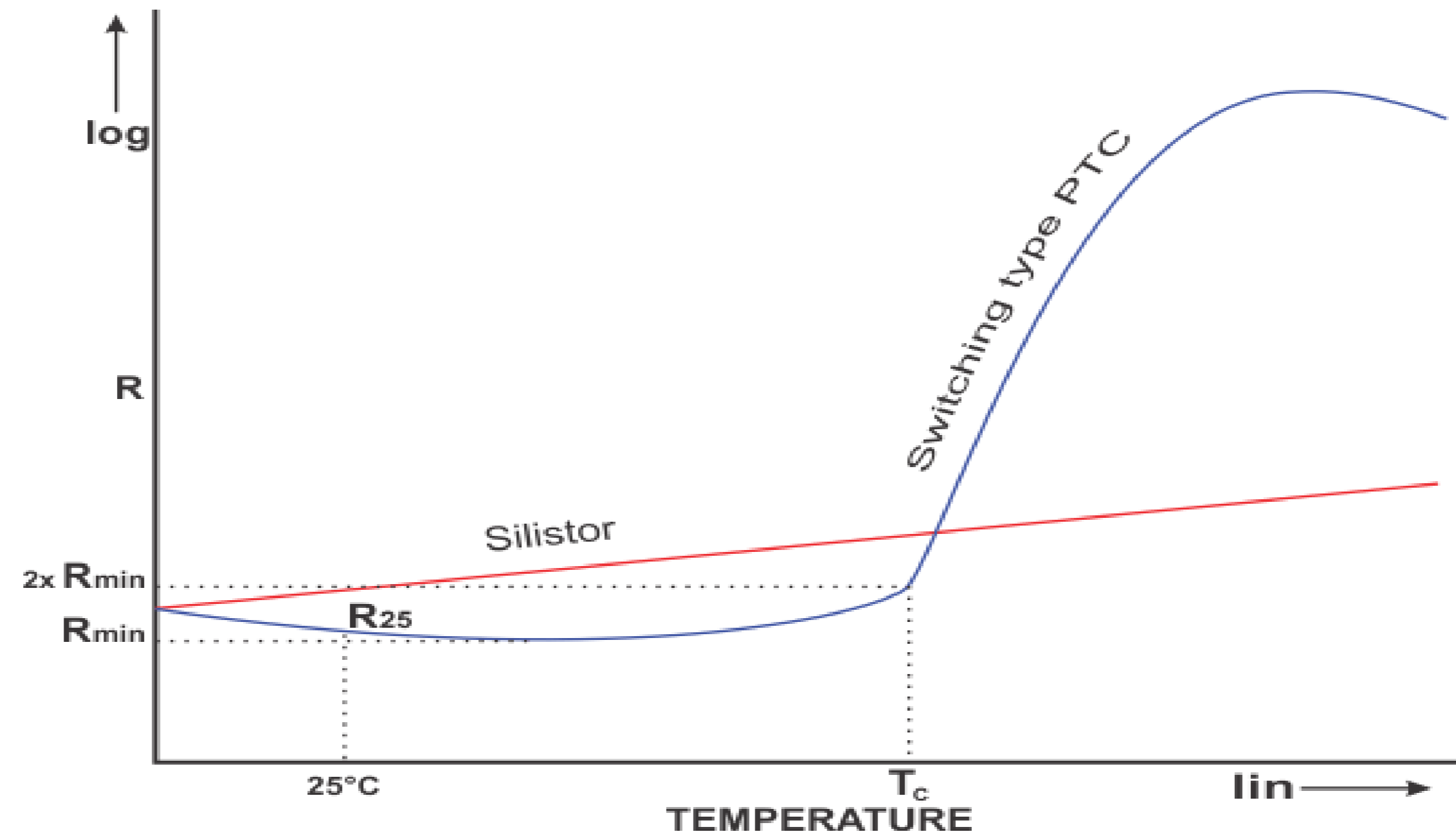
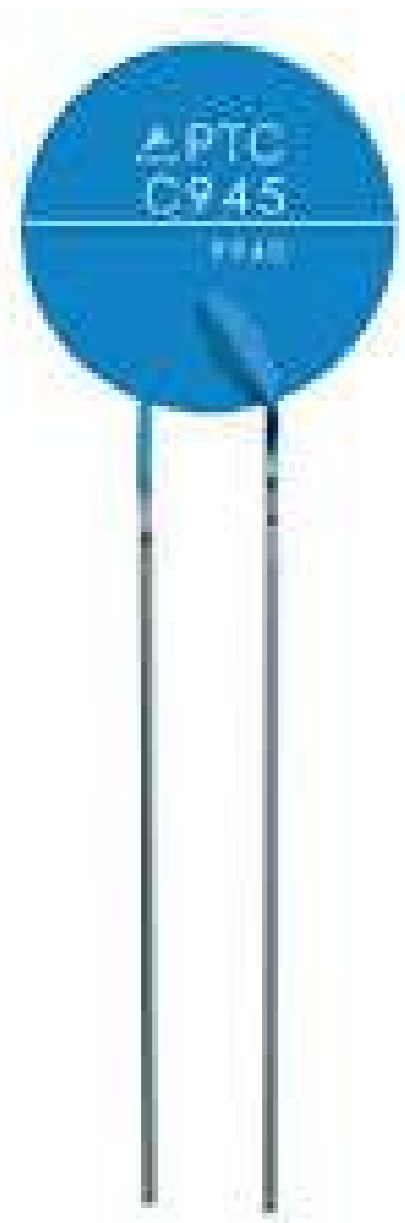
□ Kekurangan:

- NTC sedikit kurang presisi dibandingkan RTD.
- Presisi serupa dengan termokopel



2 Positive Temperature Coefficient (PTC)

- Termistor PTC adalah resistor dengan koefisien temperatur positif, artinya resistansinya akan naik seiring kenaikan temperatur.
- Berdasarkan bahan yang digunakan, struktur dan proses pembuatannya, PTC terbagi atas:
 1. Tipe silistor, menggunakan silikon sebagai bahan semikonduktif untuk karakteristik linier.
 2. Tipe switching, memiliki kurva tahan suhu yang sangat nonlinier.



2 Positive Temperature Coefficient (PTC)

Pengujian kondisi PTC

Dilakukan dengan menggunakan multimeter.

Diketahui bahwa:

Karakteristik PTC → Bahwa resistansi akan berubah semakin kecil pada saat suhu semakin rendah.

Sehingga kita dapat mengukur PTC menggunakan multimeter dengan settingan Ohm meter.

Hasil pengukuran PTC menggunakan multimeter dikatakan PTC dalam kondisi baik bila PTC mampu memberikan perubahan resistansi semakin besar pada saat suhu PTC semakin tinggi.

Apabila nilai resistansi yang ditunjuk multimeter adalah 0 Ohm (*short*) atau tidak berhingga (*open*), maka PTC rusak.



SENSOR TERMOELEKTRIK

TERMOKOPEL

Thermoelectric Effect

Thermoelectric effect adalah konversi langsung antara perbedaan temperatur dengan tegangan listrik yang sifatnya *reversible*.

Tegangan
listrik (emf)



Perbedaan
temperatur

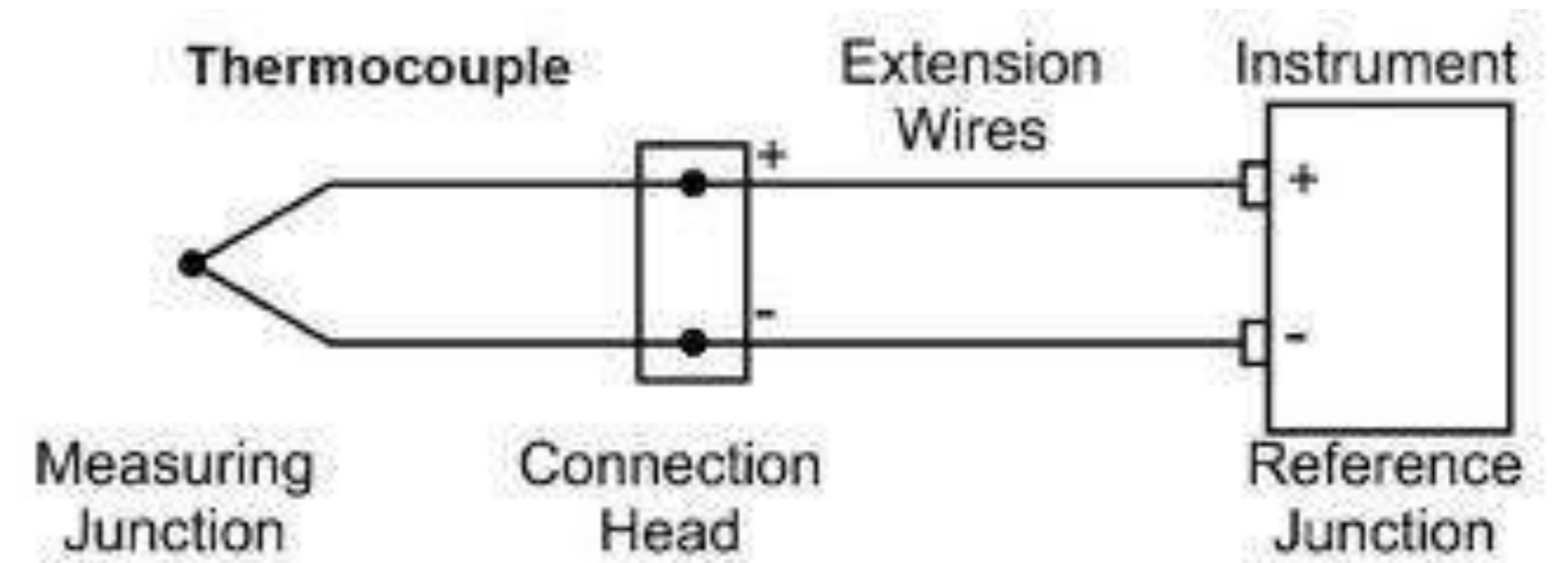
Thermoelectric effect dijelaskan dengan *Seebeck effect*.

Sedangkan Seebeck effect dijelaskan oleh *Peltier effect* dan *Thomson effect*.

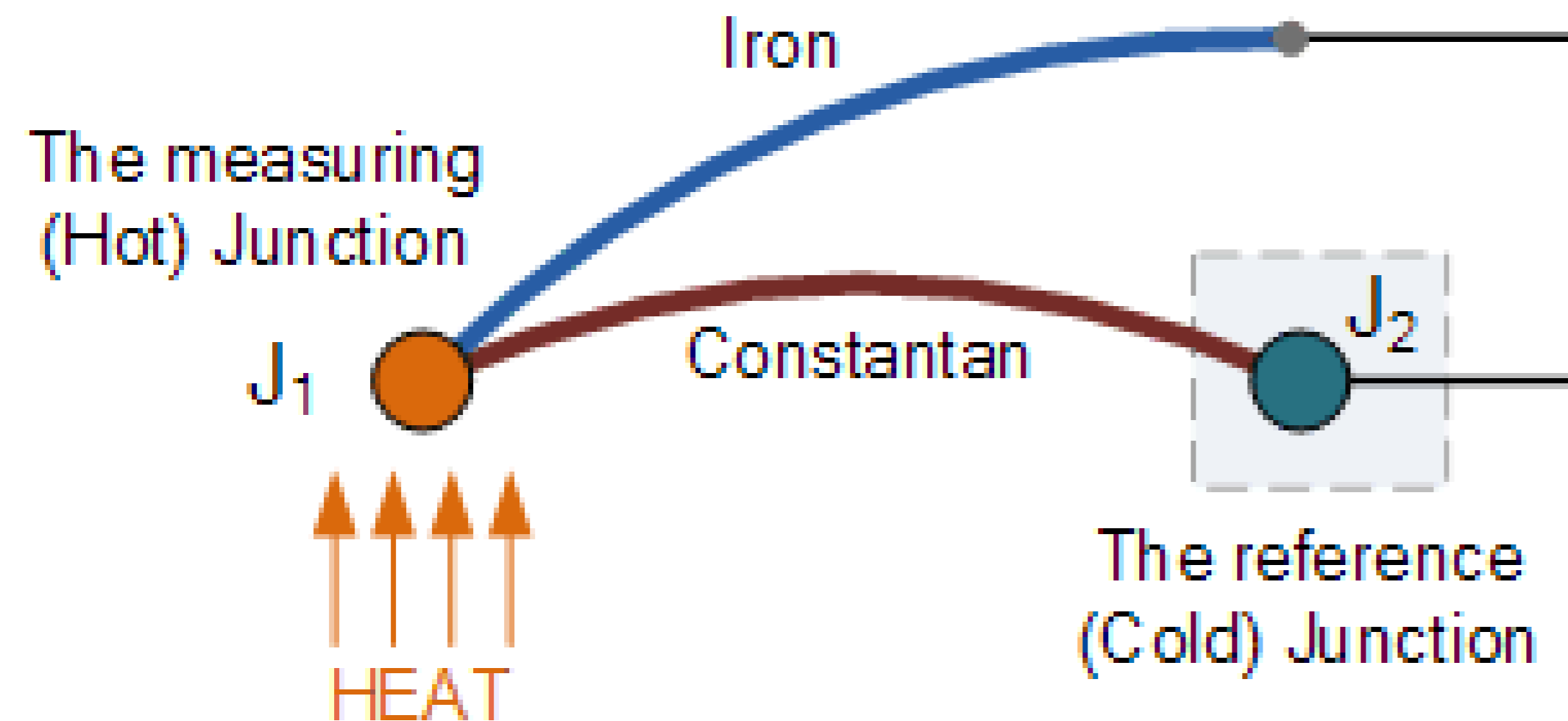
- *Seebeck Effect* adalah perbedaan temperatur antara dua *junction* dari dua metal yang tidak sama menyebabkan terjadinya arus.
- *Peltier Effect* adalah panas yang dihasilkan atau dikonsumsi pada sebuah *junction* adalah sebanding dengan temperatur pada *junction* dan arus melalui *junction*.
- *Thomson Effect* adalah jumlah panas yang diproduksi atau dikonsumsi sepanjang konduktor homogen dengan gradien suhunya sebanding dengan arus.

TERMOKOPEL

- Termokopel dibentuk dari dua buah penghantar yang **berbeda jenisnya** (besi dan konstanta) dan **dililit bersama**.
- Berfungsi sebagai **sensor suhu rendah dan tinggi** (suhu -85°C - 1800°C).

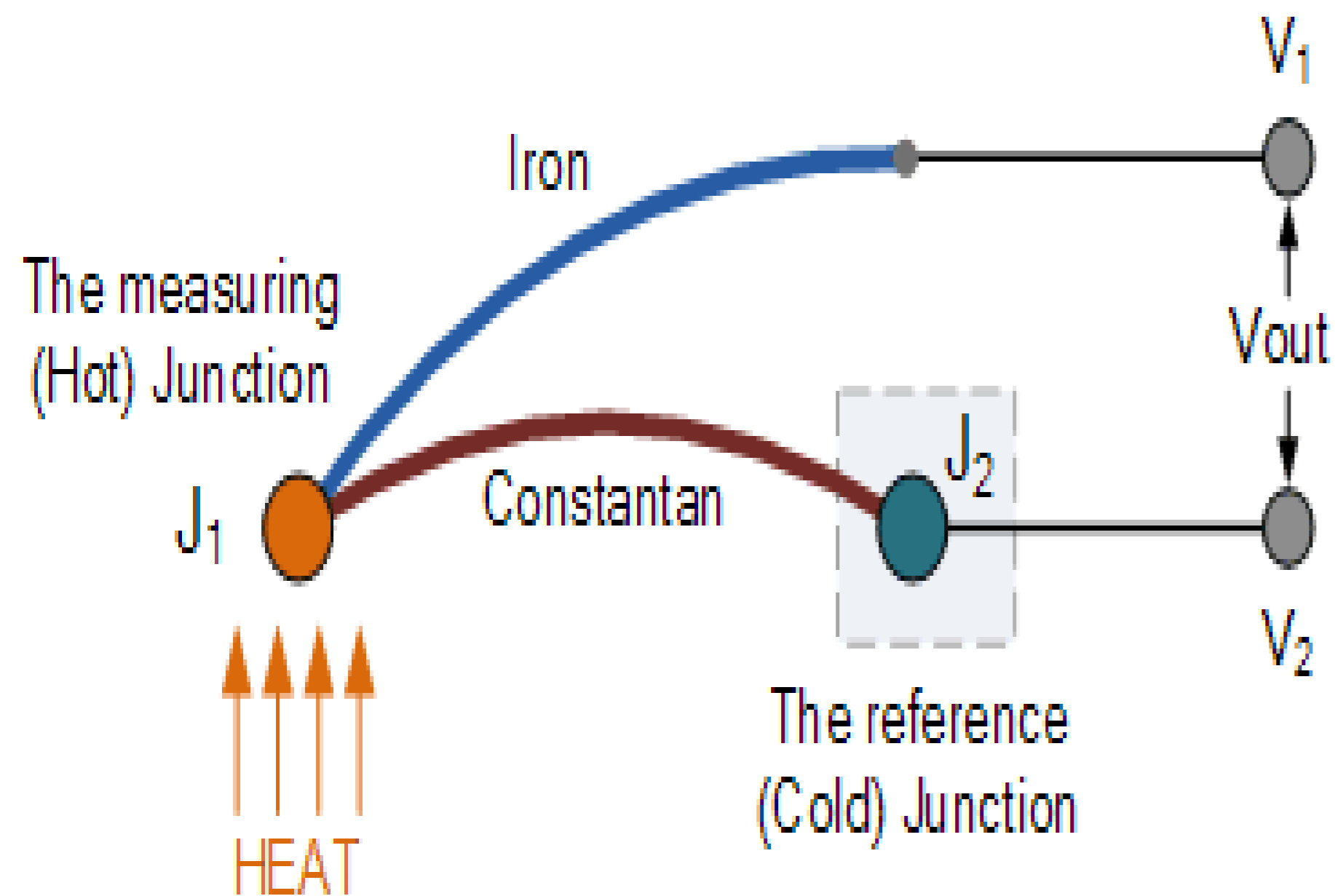


KONFIGURASI TERMOKOPEL



- Satu junction dijaga pada suhu konstan, disebut junction referensi (dingin), sementara yang lainnya adalah junction pengukuran (panas).
- Ketika dua junction berada pada suhu yang berbeda, tegangan akan terbentuk dan melewati junction, dimana digunakan untuk mengukur sensor suhu

PRINSIP PENGOPERASIAN TERMOKOPEL



The voltage output being the temperature difference between the two dissimilar junctions ($V_{out} = V_1 - V_2$)

Prinsip kerja termokopel:

Ketika berfusi, junction dari dua logam yang berbeda seperti tembaga dan konstanta menghasilkan efek "termo-listrik" yang memberikan perbedaan potensial konstan sebesar beberapa milivolt (mV) di antara keduanya.

Perbedaan tegangan antara dua persimpangan disebut "efek Seebeck" karena gradien suhu yang dihasilkan di sepanjang kabel penghantar menghasilkan GGL.

Kemudian fungsi dari perubahan suhu adalah tegangan output dari termokopel .