

## BAB II DASAR TEORI

Dalam merancang sensor konduktivitas perlu diketahui beberapa hal yang mendukung dalam pembuatan sensor konduktivitas antara lain teori mengenai konduktivitas, sensor konduktivitas, dan teknologi film tebal.

### 2.1 Arus Listrik

Muatan listrik yang bergerak akan menghasilkan arus listrik. Satuan arus listrik adalah Ampere (A). Lebih tepatnya arus I didefinisikan sebagai laju pergerakan muatan melewati suatu titik acuan tertentu (menembus suatu bidang acuan tertentu) sebagai satu Coloumb per detik, dari sistem hantar (misalnya melalui penampang lintang kawat tertentu) dan proses pengangkutan muatan disebut penghantaran. Sehingga,

$$I = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan: Q = muatan (Coloumb)

t = waktu (detik)

Satuan arus dalam sistem mks adalah ampere (A), sehingga,

$$1 \text{ ampere} = 1 \frac{\text{Coloumb}}{\text{detik}} \dots\dots\dots(2)$$

### 2.2 Kuat Arus, Rapat Arus, dan Penghantar

#### 2.2.1. Kuat Arus

Kuat arus adalah laju transport muatan listrik per satuan waktu melalui titik atau permukaan tertentu. Simbol I bisa digunakan untuk arus yang konstan, sedang i untuk arus yang berubah terhadap waktu. Satuan kuat arus adalah ampere (1A=1C/s).

Hukum ohm menghubungkan antara kuat arus (I), tegangan (V) dan hambatan (R). Untuk rangkaian-rangkaian sederhana, I=V/R. Akan tetapi bagi muatan-muatan yang tersebar dalam cairan atau gas, atau pula bila terdapat pembawa muatan positif dan negatif dengan karakteristik yang berbeda, hukum ohm yang sederhana ini tidak lagi mencukupi. Oleh sebab itu rapat arus J (A/m<sup>2</sup>) memperoleh pelatihan lebih besar dalam teori elektromagnetik dibandingkan kuat arus I.

Gaya pada suatu partikel bermuatan positif dari medium vakum, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Karena tidak ada yang melawannya maka gaya ini akan menghasilkan

percepatan yang konstan. Jadi, mutan ini bergerak ke arah E dengan kecepatan U yang terus bertambah besar selama partikel masih berada dalam medan tadi. Kalau muatan itu berada dalam medium cairan atau gas, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2, maka berulang kali bertumbukan dengan partikel-partikel medium dan akan menghasilkan perubahan-perubahan yang acak dalam arah gerakannya. Namun untuk kuat medan yang konstan dan medium homogen, komponen kecepatan acak tersebut saling menghilangkan, sehingga kecepatan rata-rata yang konstan yang dinamai dengan kecepatan hantar U, dalam arah E. Pada logam, penghantaran listrik melalui gerakan elektron dari kulit paling luar dari atom yang membentuk struktur logam itu. Kecepatan hantar berbanding lurus dengan kuat medan listrik (E),

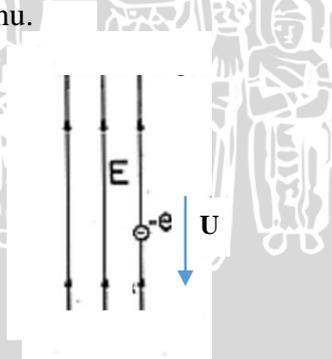
$$U = \mu E \dots\dots\dots (3)$$

Dengan: U= Kecepatan hantar

$\mu$  = Mobilitas dengan satuan  $m^2/Vs$ .

E = Kuat medan listrik

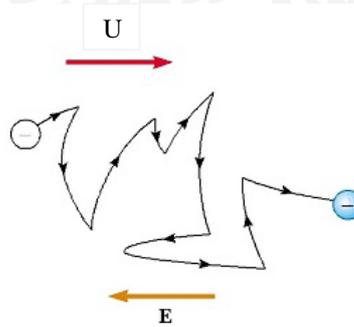
Penghantar yang baik mempunyai satu atau dua elektron yang dapat bebas bergerak kalau diberi medan listrik. Mobilitas ini besarnya tergantung pada suhu dan struktur penghantar. Jadi, pada suhu tinggi mobilitas  $\mu$  berkurang, berakibat pada kuat arus yang lebih kecil untuk kuat medan tertentu. Dalam analisis rangkaian, gejala ini dinyatakan dengan resistivitas atau hambatan jenis dari bahan. Pertambahan resistivitas ini akan sebanding dengan bertambahnya suhu.



Gambar 2.1. Gerakan Elektron Pada Medium *Vakum*

Sumber: Haus Herman A,2010:2





Gambar 2.2. Gerakan Elektron Pada Medium Cairan atau Gas  
 Sumber: Raymond A. Sherway and John W. Jewet, 2004:834

**2.2.2 Rapat Arus**

Medan listrik dalam suatu penghantar dengan luas penampang yang tetap akan menyebabkan arus konduksi. Rapat arus konduksi ini dapat dirumuskan dengan:

$$J = \rho U \text{ (A/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (4)$$

- Dengan : J = Rapat arus konduksi
- $\rho$  = Kecepatan muatan
- U = Kecepatan hanyut/hantar

Jika  $U = \mu E$ , maka

$$J = \Sigma e \dots\dots\dots (5)$$

Dimana  $\sigma = \rho \mu$ , adalah konduktivitas dari bahan yang dinyatakan dengan siemens per centimeter (S/cm).

**2.2.3. Penghantar**

**1. Konduktor**

Konduktor adalah zat yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Konduktor dapat berupa zat padat, zat cair, gas terion, dielektrik tak sempurna, dan bahkan ruang hampa udara di sekitar katoda yang memancarkan ion akibat panas. Karena sifatnya yang konduktif maka zat penghantar ini disebut konduktor. Konduktor yang baik adalah yang memiliki tahanan jenis yang kecil. Pada umumnya logam bersifat konduktif. Emas, perak, tembaga, aluminium, zink, besi berturut-turut memiliki tahanan jenis semakin besar. Di dalam banyak penghantar, pembawa muatannya adalah elektron. Emas adalah penghantar yang sangat baik, tetapi karena harganya sangat mahal secara ekonomi, maka tembaga dan aluminium paling banyak digunakan sebagai penghantar.

## 2. Isolator

Suatu penghantar listrik yang buruk disebut isolator. Pada jarak atom dalam kisi seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3 (a) celah energi yang lebar ini memisahkan daerah pita konduksi yang penuh dari pita konduksi yang kosong. Energi yang dapat diberikan kepada elektron oleh medan listrik yang ada terlalu kecil untuk memindahkan elektron dari pita yang berisi ke pita yang kosong. Oleh karena itu, elektron tidak dapat memperoleh energi yang mencukupi, maka penghantaran tidak mungkin berlangsung.

## 3. Semikonduktor

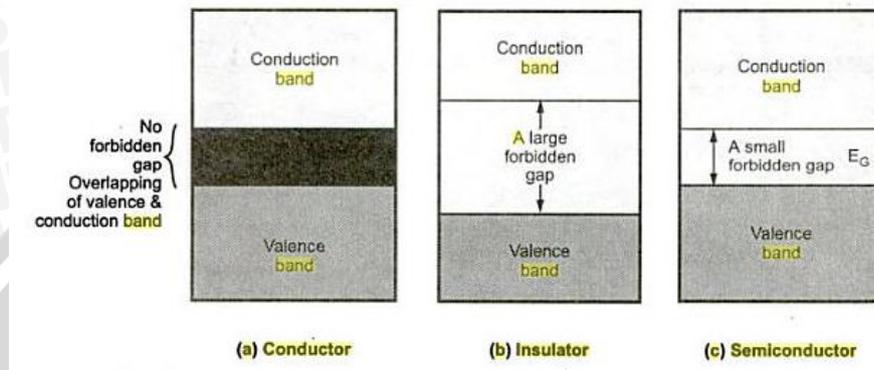
Salah satu bahan yang memiliki celah energi terkecil disebut semikonduktor. Bahan-bahan yang mempunyai sifat semikonduktor umumnya memiliki energi gap lebih kecil dari 6 eV. Bahan Semikonduktor dapat berupa bahan murni atau bahan paduan. Beberapa jenis bahan Semikonduktor dan nilai celah energinya ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Bahan Semikonduktor dan Nilai Gap

Bahan	Energi Gap (eV)	Bahan	Energi Gap (eV)
Golongan IV		Golongan III-V	
Si	1,12	Ga As	1,42
Ge	0,66	Ga P	2,24
Sn	0,08	Ga Sb	0,77
		In As	0,33
		In P	1,29
		In Sb	1,16
Golongan II-IV		Golongan IV-VI	
CdS	2,40	Pb S	0,40
Zn Te	2,26		
Zn S	-		
Cd Te	-		
Cd Se	-		

Selain bahan semikonduktor komersial ditunjukkan dalam Tabel 2.1 di atas, masih terdapat bahan semikonduktor lain yang belum dipakai secara luas. Bahan-bahan tersebut adalah bahan semikonduktor oksida dan bahan polimer. Contoh bahan oksida antara lain : CuO, ZnO, Ag<sub>2</sub>O, PbO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SnO. Ditinjau dari jenis pembawa muatan yang menghantarkan listrik didalamnya, bahan semikonduktor dapat dibedakan menjadi

bahan semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Bahan semikonduktor intrinsik merupakan bahan semikonduktor yang tidak mengandung atom takmurni (impuritas), sehingga hantaran listrik yang terjadi pada bahan tersebut adalah elektron dan lubang (hole). Sedangkan pada bahan semikonduktor ekstrinsik karena mengandung atom pengotor pembawa muatan didominasi oleh elektron saja atau lubang saja.

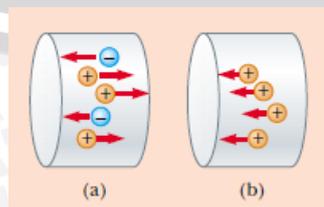


Gambar 2.3. Struktur Pita Energi (a) Konduktor Tidak Adanya Celah Energi Antara Pita Valensi dan Pita Konduksi (b) Isolator Menunjukkan Celah yang Besar (c) Pita Konduktor Semikonduktor Menunjukkan Celah yang Kecil

Sumber: Uday Bakshi and Ajay Bakshi, 2007:353

### 2.3. Konduktivitas

Dalam cairan atau gas, umumnya terdapat baik ion positif atau ion negatif yang bermuatan tunggal atau kembar dengan massa yang sama atau berbeda. Konduktivitas akan terpengaruh oleh semua faktor-faktor tersebut. Tapi kalau kita anggap semua ion adalah sama demikian pula ion positif maka konduktivitasnya hanya terdiri dari dua suku seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4 (a). Pada konduktor logam hanya elektron valensi saja yang bebas bergerak. Pada Gambar 2.4 (b) elektron-elektron itu digambarkan bergerak ke kiri. Konduktivitasnya di sini hanya mengandung satu suku, yakni hasil kali rapat muatan elektron-elektron konduksi dengan mobilitas.



Gambar 2.4. Konduktivitas (a) Cairan atau Gas, (b) Logam

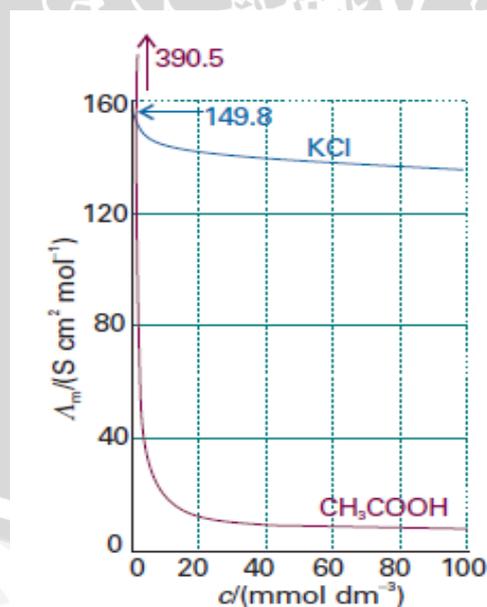
Sumber: Raymond A. Sherway and John W. Jewet, 2004:834

## 2.4. Konduktivitas Elektrik

Pengukuran konduktivitas elektrik adalah penentuan konduktivitasnya spesifik dari larutan. Konduktivitas spesifik adalah kebalikan dari tahanan untuk  $1 \text{ cm}^3$  larutan. Pemakaian cara untuk pengukuran ini antara lain untuk mendeteksi pengotoran air karena elektrolit atau zat kimia seperti pada limbah industri, air untuk mengisi ketel uap atau boiler, pengolahan air bersih dan lain-lain. Karena ada relevansi antara konsentrasi dan konduktivitas suatu larutan, maka untuk menentukan konsentrasi suatu larutan dapat dilakukan dengan cara mengukur konduktivitas larutan tersebut. Dalam hal itu hubungan antara konsentrasi dan konduktivitas larutan telah ditentukan.

Larutan asam, basa dan garam dikenal sebagai elektrolit yang dapat menghantarkan listrik atau disebut konduktor listrik. Konduktivitas listrik ditentukan oleh sifat elektrolit suatu larutan, konsentrasi dan suhu larutan. Pengukuran konduktivitas suatu larutan dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi larutan tersebut yang dinyatakan dengan persen dari berat part per milion (ppm) atau satuan lainnya.

Jika harga konduktivitas dari bermacam konsentrasi larutan elektrolit diketahui, maka untuk menentukan konsentrasi larutan tersebut dapat dilakukan dengan mengalirkan arus melalui larutan dan mengukur resistivitas atau konduktivitasnya. Gambar 2.5 menunjukkan grafik hubungan antara konduktivitas dengan konsentrasi.



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Konduktivitas dengan Konsentrasi

Sumber: Peter Atkins and Julio De Paula, 2006:762



Material	Tipe	$\sigma, S/m$
Besi Tuang	Konduktor	$10^6$
Mercury	Konduktor	$10^6$
Chrome	Konduktor	$10^6$
Constantan	Konduktor	$2,26 \times 10^6$
Silicon	Konduktor	$2 \times 10^6$
Perak	Konduktor	$3 \times 10^6$
Timah Hitam	Konduktor	$5 \times 10^6$
Timah	Konduktor	$9 \times 10^6$
Fosfor	Konduktor	$1,0 \times 10^7$
Kuningan	Konduktor	$1,1 \times 10^7$
Seng	Konduktor	$1,7 \times 10^7$
Tungsten	Konduktor	$1,8 \times 10^7$
Duralumin	Konduktor	$3 \times 10^7$
Aluminium	Konduktor	$3,5 \times 10^7$
Emas	Konduktor	$4,1 \times 10^7$
Tembaga	Konduktor	$5,7 \times 10^7$
Perak	Konduktor	$6,1 \times 10^7$
$Nb_3(Al-Ge)$	Super Konduktor	$\infty$

Dalam satuan Sistem Internasional (SI), satuan mho diganti dengan Simens. Untuk suatu konduktivitas mho/cm sama dengan mikro simens per centimeter ( $\mu S/cm$ ). Namun, karena pada SI satuan panjang yang digunakan adalah dalam satuan meter maka satuan konduktivitas adalah mikro simens per meter,  $\mu S/cm = 100S/m$ .

Pada peralatan ukur konduktivitas di industri, luas permukaan elektroda dapat lebih ataupun kurang dari 1 cm dan jaraknya dapat lebih jauh ataupun lebih dekat dari 1 cm. Hubungan satuan antara elektroda dengan sel konduktivitas standar disebut dengan konstanta sel (K). Hal ini dapat diturunkan dengan Persamaan:

$$k = C \frac{1}{A} \dots \dots \dots (7)$$

$$C = \frac{K}{1/A} \dots \dots \dots (8)$$

Jarak l dan A besarnya tetap, sehingga  $1/A$  merupakan tetapan yang disebut sebagai konstanta sel. Jika  $1/A = F$ , maka  $C = K/F$ . F adalah konstanta sel dengan satuan  $1/cm$  atau  $cm^{-1}$ . Konstanta sel berkisar antar 0,01 sampai 100 untuk sel konduktivitas.

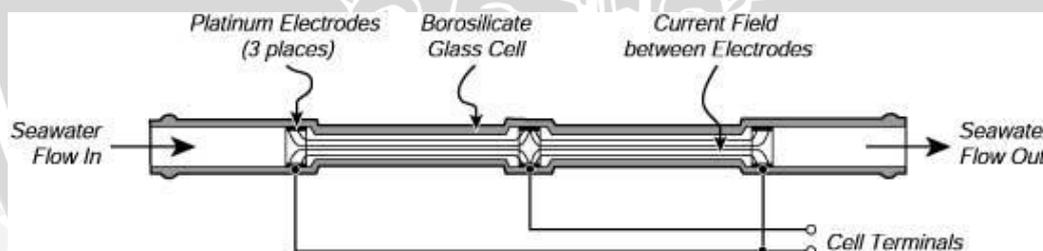
Untuk konstanta sel tertentu memiliki daerah ukur konduktivitas, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Konstanta Sel dan Rentang Ukur Konduktivitas

Kontanta Sel	Rentang Ukur Konduktivitas (mikro mho)
0,01	1-200
0,10	100-200
1,00	1000-5000
10,00	5.000-200.000
100,00	100.000-2.000.000

Karena temperatur merupakan besaran yang berpengaruh pada konduktivitas, maka diperlukan suatu kompensator suhu pada sel konduktivitas tersebut. Konstruksi sel konduktivitas yang digunakan biasanya lebih bergantung pada kebutuhan masing-masing. Konfigurasinya juga dipengaruhi oleh daerah ukur yang dikehendaki oleh konstanta sel.

Dalam Gambar 2.6. sel tipe sisipan dipasang ke dalam pipa atau bagian dalam tangki. Bagian yang sensitif terdiri atas dua buah elektroda platina yang terpasang dalam pipa pireks dengan bentuk H. Elektroda ditempatkan pada pipa gelas yang terpisah yang terdiri atas cincin-cincin platina yang tersusun dalam pipa, sehingga pengotoran dan kerusakan elektroda dapat dibatasi. Sel-sel konduktivitas itu dapat dibersihkan dengan mudah. Elektroda platina dilapisi platina hitam untuk mencegah efek polarisasi.



Gambar 2.6. Sel Konduktivitas dengan Sensor Platina

Sumber : Robert H Stewart, 2008: 93

Polarisasi biasanya terjadi jika dialirkan arus listrik melalui suatu larutan. Bila polarisasi tidak dicegah maka akan mengganggu ketelitian dalam pengukuran. Salah satu bentuk polarisasi adalah elektrolisa yang pada umumnya menghasilkan lapisan gas pada permukaan elektroda yang akan meningkatkan tahanan larutan. Oleh karena itulah tegangan DC tidak digunakan untuk menentukan konduktivitas. Dengan tegangan AC, polarisasi dapat ditiadakan.

Cara lain untuk menentukan konduktivitas adalah dengan sel yang bahan elektrodanya lebih banyak menggunakan graphite daripada metal biasa. Macam-macam graphite yang digunakan mempunyai sifat permukaan sama terhadap polarisasi, seperti elektroda logam. Elektroda-elektroda tersebut dapat dibersihkan secara kimia dengan kain atau sikat.

Ada dua cara untuk mengkalibrasi instrumen konduktivitas, yaitu kalibrasi dari konduktivitas dan kalibrasi dari konsentrasi elektrolit. Pada umumnya konduktivitas larutan akan membesar jika suhu larutan itu naik. Dengan demikian konduktivitas suatu instrumen yang dikalibrasi dalam mho menggunakan larutan dengan konsentrasi tertentu. Pembacaan pada instrumen akan berubah jika suhu larutan itu berubah.

Kompensasi temperatur pada instrumen konduktivitas dari larutan dapat dibuat jika koefisien temperatur konduktivitas larutan telah diketahui. Kompensasi suhu hanya digunakan untuk larutan tertentu yang memerlukan.

Seperti yang telah diuraikan terdahulu bahwa pengaruh suhu terhadap tiap-tiap elektrolit berbeda-beda. Dengan demikian untuk mengukur konsentrasi atau konduktivitas, suhu elektrolit diatur supaya tetap, misalnya 70°F. Untuk membuat kompensasi suhu dapat dilakukan secara manual otomatis.

Kompensasi manual dilakukan dengan cara mengatur arus secara manual yang dikalibrasi pada temperatur dari larutan pada saat pengukuran. Kompensasi suhu otomatis terdiri atas detektor suhu dari tahanan atau RTD yang dimasukkan ke dalam sel pengukuran. Jika temperatur dalam sel berubah, tahanan dari RTD juga berubah. Tahanan ini dihubungkan dengan jembatan wheatstone sehingga suhu akan mengkompensasikan ke arah nol. Hal ini mengakibatkan apabila terjadi perubahan suhu maka pengukuran konduktivitas tidak akan mengalami perubahan.

## **2.5. Perbedaan Larutan Berdasarkan Daya Hantar Listrik (Konduktivitas)**

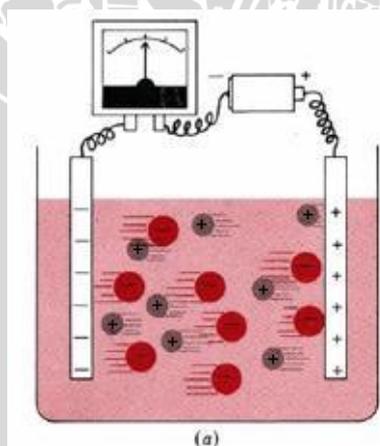
Berdasarkan daya hantar listriknya, larutan dibedakan menjadi 2 golongan yaitu larutan elektrolit dan larutan non elektrolit. Perbedaan antara kedua larutan ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Perbandingan Larutan Elektrolit dan Larutan Non Elektrolit

Larutan Elektrolit	Larutan Non Elektrolit
Dapat menghantarkan listrik	Tidak dapat
Terjadi proses ionisasi (terurai menjadi ion-ion)	Tidak terjadi proses ionisasi
Lampu dapat menyala terang atau Redup dan ada gelembung gas	Lampu tidak menyala dan tidak ada gelembung gas
Contoh: Garam dapur (NaCl) Cuka dapur (CH <sub>3</sub> COOH) Air accu (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Garam magnesium (MgCl <sub>2</sub> )	Contoh: Larutan gula (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> ) Larutan urea (CO NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> Larutan alkohol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (etanol) Larutan glukosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )

Contoh larutan: larutan HCl.

Larutan HCl di dalam air mengurai menjadi kation (H<sup>+</sup>) dan ion (Cl<sup>-</sup>). Terjadinya hantaran listrik pada larutan HCl disebabkan ion H<sup>+</sup> menangkap elektron pada katoda dengan membebaskan gas Hidrogen. Sedangkan ion-ion Cl<sup>-</sup> melepaskan elektron pada anoda dengan menghasilkan gas klorin.



Gambar 2.7. Hantaran Listrik Melalui Larutan HCl

Sumber: Davies Collins,1978:2

## 2.6. Pengelompokan Larutan Berdasarkan Jenisnya

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa berdasarkan daya hantar listriknya, larutan dapat dibagi menjadi larutan elektrolit dan larutan non elektrolit. Sedangkan elektrolit dapat dikelompokkan menjadi larutan elektrolit kuat dan elektrolit lemah sesuai skema penggolongan seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Perbandingan Larutan Elektrolit dan Larutan Non Elektrolit

Jenis Larutan	Sifat dan Pengamatan Lain	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- terionisasi sempurna</li> <li>- menghantarkan arus listrik</li> <li>- lampu menyala terang</li> <li>- terdapat gelembung gas</li> </ul>	NaCl, HCl, NaOH, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , dan KCl	$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$
Elektrolit Lemah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- terionisasi sebagian</li> <li>- menghantarkan arus listrik</li> <li>- mampu menyala redup</li> <li>- terdapat gelembung gas</li> </ul>	CH <sub>3</sub> COOH, N <sub>4</sub> OH, HCN, dan Al(OH) <sub>3</sub>	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2^-$ $\text{H}_3\text{COO}^-$ $\text{HCN} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$ $\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-$
Non Elektrolit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak terionisasi</li> <li>- Tidak menghantarkan arus listrik</li> <li>- Lampu tidak menyala</li> </ul>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> , CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , dan C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> , CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH

## 2.7. Sensor

Sensor adalah alat yang dapat menerima rangsangan dan merespons dengan satu sinyal elektrik. Rangsangan adalah kuantitas, sifat, atau kondisi yang dirasakan dan dikonversi ke dalam sinyal elektrik. Tujuan dari suatu sensor adalah untuk merespons suatu sinyal elektrik menjadi nilai elektrik. Elektrik artinya sinyal yang dapat disalurkan, dikuatkan, dan dimodifikasi oleh alat elektronik. Sinyal keluaran sensor dapat berupa tegangan atau arus. Sinyal keluaran juga dapat digambarkan sebagai masukan amplitude, frekuensi, fase atau kode digital (Fraden.2003:2).

Pada dasarnya sensor dan transduser mempunyai definisi sama yaitu menerima rangsangan (gejala fisis) dari luar dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Proses fisis yang merupakan stimulus atau rangsangan sensor dapat berupa fluks magnetik, gaya, arus

listrik, temperatur, cahaya, tekanan dan proses fisis lainnya. Sensor dan transduser mempunyai perbedaan yang sangat kecil yaitu pada koefisien konversi energi. Sensor itu sendiri terdiri dari transduser atau tanpa penguat atau pengolah sinyal yang terbentuk dalam satu indra (Sinclair.1988:9).

## 2.8. Sensor Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah pengukuran kemampuan suatu larutan untuk membawa arus listrik. Sedangkan ion adalah suatu atom unsur yang telah memperoleh atau kehilangan elektron yang akan membuat keadaan negatif atau positif. Sebagai contoh natrium klorida, terdiri dari ion natrium ( $\text{Na}^+$ ) dan ion klorida dan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang terjadi bersama-sama dalam suatu kristal. Karakteristik sensor kimia ditentukan dari sejauh mana sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mengenali zat yang ingin dideteksinya. Kemampuan mendeteksi zat tersebut meliputi:

### 1. Sensitivitas

Sensitivitas yaitu ukuran seberapa sensitif sensor mengenali zat yang dideteksinya. Sensor yang baik akan mampu mendeteksi zat meskipun jumlah zat tersebut sangat sedikit dibandingkan gas disekelilingnya. Sebagai gambaran sebuah riset dengan material nano porous terhadap gas  $\text{NO}_2$  sudah mampu mendeteksi gas  $\text{NO}_2$  dengan jumlah 300ppb (part per billion), artinya sejumlah 300 partikel  $\text{NO}_2$  yang ada dalam 1 miliar partikel udara sudah bisa membuat sensor ini mendeteksi keberadaanya.

### 2. Selektivitas

Selektivitas yaitu sejauh mana sensor memiliki kemampuan menyeleksi gas atau cairan yang ingin dideteksinya. Sifat ini tidak kalah penting dengan sensitivitas mengingat gas atau cairan yang dideteksi tentunya akan bercampur dengan zat lain yang ada disekelilingnya.

### 3. Waktu respons dan waktu *recovery*

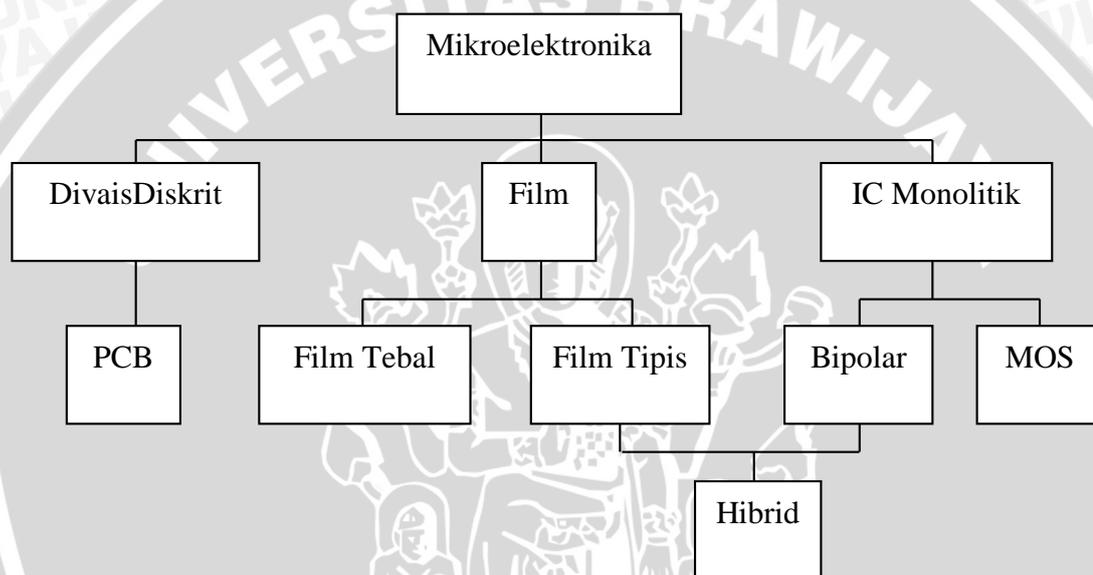
Waktu respons dan waktu *recovery* yaitu waktu yang dibutuhkan sensor untuk mengenali zat yang dideteksinya. Semakin cepat waktu respons dan waktu *recovery* maka semakin baik sensor tersebut. Beberapa gas berbahaya bahkan dapat sangat cepat bereaksi dengan tubuh manusia yang dapat berakibat fatal seperti gas  $\text{CO}_2$  atau  $\text{NO}_2$  yang dalam hitungan dibawah 5 menit dapat mengakibatkan kematian. Karenanya kemampuan mendeteksi gas seperti ini harus lebih cepat dari kemampuan gas tersebut bereaksi dengan tubuh manusia

4. Stabilitas dan daya tahan

Stabilitas dan daya tahan yaitu sejauh mana sensor dapat secara konsisten memberikan besar sensitivitas yang sama untuk suatu gas, serta seberapa lama sensor tersebut dapat terus digunakan.

2.9. Teknologi Film Tebal

Mikroelektronika secara umum terdiri atas beberapa teknologi penting yang diklasifikasikan menjadi teknologi diskrit, film, dan IC monolitik seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Proses penggabungan teknologi film dengan teknologi IC Monolitik disebut juga teknologi hibrida.



Gambar 2.8. Blok klasifikasi Mikroelektronika

Sumber: Malcom R. Haskard,1

Proses pembuatan film tebal terdiri atas beberapa langkah sederhana yang bisa diulang beberapa kali dengan urutan yang benar. Langkah-langkah tersebut antara lain adalah pemindahan gambar ke *screen* (*screen manufacture*), proses pencetakan (*printing*), serta proses pemanggangan (*firing*). Untuk beberapa rangkainya elektronik selain langkah-langkah standar diatas juga diperlukan proses yang lainnya seperti pembersihan (*cleaning*), penyolderan (*soldering*), pengetesan (*electrical test*), serta proses perangkaian akhir (*packaging*).

Proses dasar pada film tebal adalah screening, yaitu proses pemberian pasta yang ditekan/dilewatkan pada screen dengan suatu alat penyapu yang terbuat dari bahan yang lunak seperti karet. Pasta yang ditekan hanya mampu melewati screen yang berlubang sesuai dengan bentuk pola yang telah kita cetak pada screen. Pasta yang melewati screen



akan menempel pada substrat yang merupakan suatu insulator yang terbuat dari alumina, polyster, maupun *poercelain-coated steel*.

### 2.9.1 Material Film Tebal

Materian utama dalam teknologi film tebal adalah subtrat dan pasta.

#### A. Substrat

Substrat adalah media tempat komponen film tebal diimplementasikan. Substrat yang umum digunakan adalah alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang memiliki keunggulan yakni: kekuatan fisik, sifat listrik, sifat termis, dll.

Kemurnian kramik alumina yang digunakan menjadi substrat antara 95%-96% sedangkan 4%-6% berupa campuran kalsium, magnesium, serta silikon agar meningkatkan reaktifitas pada proses pembentukan ikatan antara substrat dengan pasta film tebal. Substrat alumina dengan kemurnian 99% jarang digunakan karena permukaannya terlalu halus sehingga sulit dilakukan proses perekatan atau adesi.

Substrat harus memiliki beberapa kriteria berikut:

1. Kekuatan mekanik

Kekuatan mekanik ini adalah substrat tidak mudah patah dan berubah bentuk.

2. Tahan suhu tinggi

Pada proses pemanggangan pasta, beberapa pasta tertentu memerlukan suhu tinggi sehingga dibutuhkan substrat yang tahan pada suhu tinggi tanpa mengalami perunahan.

3. Inert

Inert adalah tidak berubah sifat akibat bereaksi terhadap bahan kimia, pasta, maupun efek samping dalam proses pabrikan film tebal.

4. Resistivitas

Substrat harus memiliki isolator yang baik atau resistivitasnya sangat tinggi.

5. Konstanta dielektrik

Konstanta dielektrik substrat harus serendah mungkin untuk menghindari pengaruh kapasitas parasitik yang mungkin timbul antar penghantar atau antar komponen.

6. Konduktivitas Termal

Substrat yang baik harus bersifat konduktor termal. Hal ini untuk mengurangi pemanasan lokal akibat disipasi termal komponen tertentu.

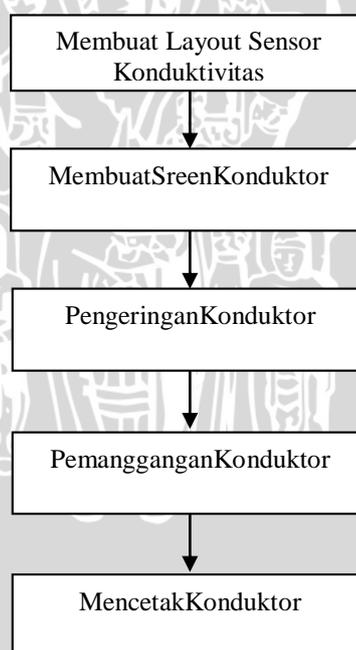
## B. Pasta

Pasta adalah bahan pembentuk komponen pasif elektronika (resistor, kapasitor, induktor), konduktor, enkapsulasi yang akan dicetak diatas substrat dengan cara *screen printing*. Secara garis besar ada dua kelompok pasta yaitu pasta yang tersusun atas logam mulia (*noble metal*) serta logam biasa (*base metal*). Selanjutnya untuk logam mulia sendiri bisa dibedakan menjadi tiga, yaitu suhu pemanggangan tinggi, sedang, dan rendah.

Semakin berkurangnya suhu pemanggangan dari suatu pasta akan mengakibatkan berkurangnya kemampuan dari pasta yang dihasilkan. Saat ini pasta yang dihasilkan dengan suhu pemanggangan yang tinggi hanya digunakan untuk kepentingan militer pihak-pihak tertentu yang memang membutuhkan kemampuan alat yang lebih presisi.

### 2.9.2 Tahapan Proses Fabrikasi Sensor Konduktivitas Film Tebal

Tahapan proses fabrikasi sensor konduktivitas film tebal terdiri atas beberapa proses dengan urutan tertentu ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tahapan Proses Pabrikasi Sensor Konduktivitas Film Tebal

### A. Pembuatan Screen

Fungsi screen adalah membentuk pola rangkaian yang akan dicetak dan menentukan ketebalan dari pasta yang akan dilapiskan. Penggunaan sreen disesuaikan dengan karakteristiknya masing-masing. Screen dipasang pada kerangka atau frame aluminium.

Proses pembuatan *screen* merupakan awal dari pembuatan rangkain atau komponen dengan teknologi film tebal. Prosesnya adalah pembuatan pola tata letak dengan menggunakan *software* tertentu. Pola yang dibuat adalah dimensi, posisi dari jalur konduktor, komponen resistor dan atau kapasitor dan atau induktor, serta koneksi eksternal terhadap komponen SMD (*Surfae Mount Device*) dan atau komponen diskrit.

Pola tersebut dicetak menjadi ortho-film yang kemudian akan dipindahkan ke *screen* dengan fotogai (penyinaran). Karakteristik yang perlu diperhatikan dalam penentuan suatu *screen mesh* adalah sebagai berikut:

- Material;
- Ukuran;
- Kelengkapan;
- Orientasi;
- Keseragaman;

Screen yang biasa digunakan dalam proses film tebal adalah *polyester*, *nylon*, serta *stainless steel*. Perbedaan dari masing-masing jenis screen tersebut ditinjau dalam Tabel 2.6.

Parameter	<i>Polyester</i>	<i>Stainless Steel</i>	<i>Nylon</i>
Elastisitas	Sedang	Rendah	Tinggi
Sifat penetakan	Bagus untuk area substrat	Bagus untuk area yang kecil	Bukan untuk pasta merekat
Ketebalan penetakan	Rendah-sedang	Rendah-tinggi	Rendah-sedang
Daya tahan	Lama	Sangat lama	Sedang
Daerah Pencetakan:			
Maksimum	70%	50%	70%
Tipikal	10%	10%	10%

Tabel 2.6 Tabel Perbandingan Screen

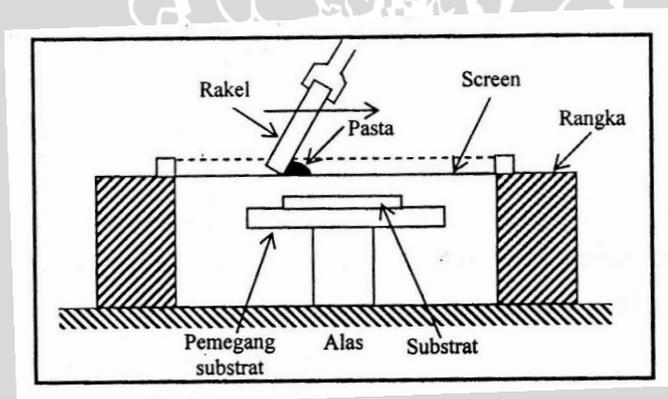
## B. Pencetakan

Proses penetakan (*sreen printing*) adalah proses meletakkan sejumlah pasta pada permukaan substrat dengan menggunakan rakel (*ssqueegee*) yang ditekan pada *sreen*. Kekuatan tekanan yang diberikan saat pencetakan akan mempengaruhi hasil cetakan. Bila tekanan kurang maka pasta yang menembus *screen* akan sedikit sehingga hasil cetakan tidak rata. Sebaliknya bila tekanan terlalu kuat maka hasil cetakan akan berubah bentuk dan dapat merusak *screen*.

Proses pencetakan membutuhkan beberapa peralatan dasar, antara lain:

- *Screen*, tidak hanya menentukan tempat pasta akan dicetak namun juga menentukan jumlah pasta yang dicetak.
- Alat penyaput (Rakel), menentukan pasta agar melewati *screen*.
- Pemegang substrat.
- Sekumpulan *pneumatic*, *vacuum*, dan atau sistem hidrolis yang mengoprasikan pencetak.
- Peralatan berat lainnya yang akan mempertahankan nilai akurasi serta ketetapan alat.

Gambar 2.10 menunjukkan bagian dasar sebuah pencetak.



Gambar 2.10 Unsur-unsur Pencetak Film Tebal

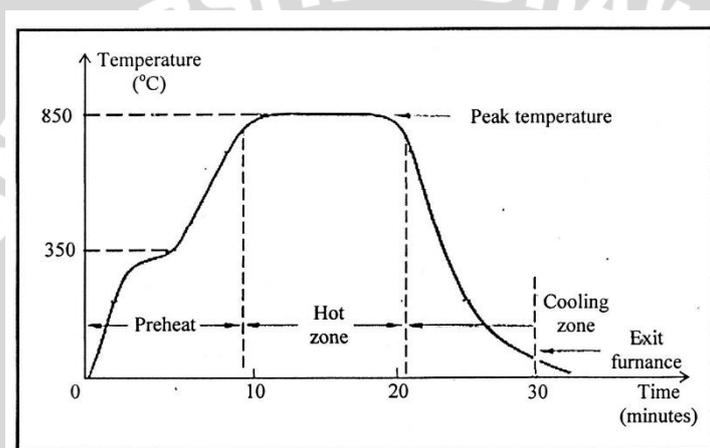
Sumber: Malcom R. Haskard, 15

## C. Pengeringan Dan Pemanggangn Pasta

Setelah proses pencetakan dilakukan proses pengendapan dan pengeringan pasta. Pengendapan adalah proses membiarkan substrat selama 5-10 menit agar pasta benar-benar mengendap sehingga jalur-jalur bekas *screen* menghilang. Proses pengeringan adalah proses penghilangan bahan-bahan organik yang mudah menguap misalnya air.

Dengan cara di panaskan pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 15$  menit. Selanjutnya masuk ke proses pemanggangan (*firing*).

Selama proses pemanggangan ada 3 zona utama yang harus dilewati, yaitu zona sebelum panas (*preheat*), zona panas (*hot zone*), dan zona pendinginan (*cooling zone*). Pada zona sebelum panas, sisa-sisa *unsur organik akan* habis terpancang suhunya antara  $300\text{-}350^{\circ}\text{C}$ , tergantung material yang di panggang. Selama proses sintering tersebut senyawa-senyawa gelas melebur melakukan ikatan dengan substrat dan terjadi reaksi kimia antar komponen-komponen pembentuk pasta. Setelah itu masuk ke zona pendinginan dimana substrat akan kembali ke suhu mendekati suhu ruangan. Berikut profil suhu pemanggangan pasta film tebal ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Profil Suhu Pemanggangan Film Tebal

Sumber: Malcom R. Haskard, 46





