

## TEKNOLOGI PROSES PEMBUATAN DIVAIS SENSOR GAS NO<sub>2</sub> DENGAN LAPISAN AKTIF In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

(*PROCESS TECHNOLOGY OF FABRICATION NO<sub>2</sub> GAS SENSOR DEVICES WITH ACTIVE LAYER In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*)

Slamet Widodo\*

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPET-LIPI) Kampus LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung, 40135, Telp. : (022) 2504660, 2504661; Fax : (022) 2504659

\*email: slametwidodo50@gmail.com; slametwi\_dodo@yahoo.co.id

*Received 05 November 2013, Accepted 14 February 2014, Published 04 March 2014*

### ABSTRAK

Dalam tulisan ini dibahas perancangan dan fabrikasi sensor *arrays* gas NO<sub>2</sub> berbasis metal oksida dengan teknologi *thick film*. Sensor yang dirancang terdiri dari komponen-komponen penyusun, yaitu: *heater* (pemanas), elektroda (*interdigital fingers*), dan lapisan sensitif dari bahan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sensor ini dibuat *multilayers*, komponen pemanas dan dua buah elektroda telah dirancang dalam satu permukaan dengan mempertimbangkan aspek miniaturisasi, distribusi panas, dan konsumsi daya dari divais sensor. Sedangkan proses pembuatan pemanas dan elektroda dilakukan di atas substrat alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dengan pasta *silver*/perak (Ag). Lapisan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memperlihatkan adanya perubahan resistansi ketika dilewatkan gas NO<sub>2</sub>. Hal itu menunjukkan bahwa komponen penyusun sensor ini memiliki potensi untuk digunakan dalam mendeteksi gas NO<sub>2</sub>.

**Kata kunci:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, divais sensor gas, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, teknologi film tebal.

### ABSTRACT

This paper discuss the design and fabrication of NO<sub>2</sub> gas sensor based on metal oxide using thick film technology was described. The design of gas sensor is consisted of components, i.e. heater, electrode (interdigital fingers) and sensitive layer from In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> material. This sensor has been designed as multilayers with heater and both electrodes in one surface, in accordance with miniaturisation aspect, heat distribution and less consumption of energy from the sensor device. The heater and electrode were fabricated on alumina substrate (aluminum oxide/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) with silver paste. The In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layer provides resistance change when it is exposed by NO<sub>2</sub> gas. It indicates that this sensor device has a potency to be used as NO<sub>2</sub> detector.

**Keywords:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Gas sensor devices, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, thick film technology

### PENDAHULUAN

Sensor sebagai bagian dari komponen elektronika telah mengalami banyak perubahan dalam berbagai hal. Faktor yang mempengaruhi perkembangan sensor

diantaranya adalah kebutuhan untuk mengetahui besaran tertentu misalnya jenis gas-gas pencemar (*pollutant*) diantaranya gas NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida) serta adanya kemajuan mengenai pengetahuan dan teknologi material beserta proses fabrikasinya.

Untuk monitoring pencemaran udara diperlukan sensor gas, seperti kita ketahui bahwa udara disekitar kita terdiri dari gas-gas buangan yang dapat mempengaruhi kesehatan misalnya NO<sub>2</sub>. Mengingat hal tersebut sangat penting untuk kehidupan, maka diperlukan suatu usaha untuk mengatasi pencemaran tersebut (Mizsei *and* Lantto, 1992).

Pembuatan film tipis sebagai lapisan sensitif pada sensor gas dari campuran butiran nano partikel SnO<sub>2</sub> dengan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode sol-gel. Film tipis oksida ini telah digunakan sebagai lapisan *gas-sensing* dan sebagai sensor gas *chemoresistive* dengan penampilannya dapat mendeteksi gas nitrogen dioksida NO<sub>2</sub> pada konsentrasi 2-20 ppm (dalam udara kering) telah dianalisis dan di karakterisasi ( Francioso *et al.*, 2006).

Saat ini sensor gas konvensional memiliki dimensi yang relatif besar dan dengan harga yang cukup mahal sehingga diperlukan upaya untuk meminimalkan bentuk tersebut tanpa mengubah fungsinya agar dapat lebih menghemat ruang dan biaya. (Rodriguez *and* Garcia, 2007).

Teknologi pembuatan sensor gas ada bermacam-macam, salah satu teknologi fabrikasi sensor gas yang sedang berkembang saat ini adalah teknologi film tebal (*Thick Film*). Sensor gas semikonduktor metal oksida (SMO) berbasis teknologi *thick film* pertama kali dibuat oleh seorang ahli dari Jepang yaitu Prof. Taguchi sekitar tahun 1960, dengan tujuan awal sebagai detektor kebocoran LPG di rumah (Han, 2003).

Pada teknologi sensor gas semikonduktor, terjadinya proses pendeteksian gas disebabkan oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) antara gas yang dideteksi dengan atom-atom material sensor sehingga mempengaruhi kemampuan menghantarkan listrik (nilai resistansi) sensor. Oleh karena gas itu sendiri memiliki sifat yang berbeda-beda maka prinsip kerja dari masing-masing sensor gas pun tidak sama (Barsan *and* Weimar, 2001)

Pada sensor gas berbasis teknologi film tebal proses pembuatannya dilakukan dengan teknik *screen printing*. Teknik *screen printing* ini dilakukan dengan menempatkan tinta atau pasta pada substrat sensor melewati screen menggunakan penekan (raket)/(*squeegee*). Hanya bagian *screen* yang berlubang atau berpola saja yang mencetak (*print*) pasta pada substrat (Haskard, 1988).

Sensor ini dapat dibuat dalam dimensi millimeter (mm) dengan menggunakan teknik ini. Walaupun dimensinya cukup kecil tetapi sensor dengan teknologi film tebal membutuhkan disipasi daya yang tinggi (1 – 5 Watt) / (Moseley, 1994).

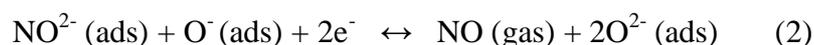
Sensor gas berbasis teknologi film tebal memiliki komponen-komponen seperti *heater*, elektroda, dan lapisan sensitif (*sensing layer*) / (Williams and Coles, 1997).

## METODE PENELITIAN

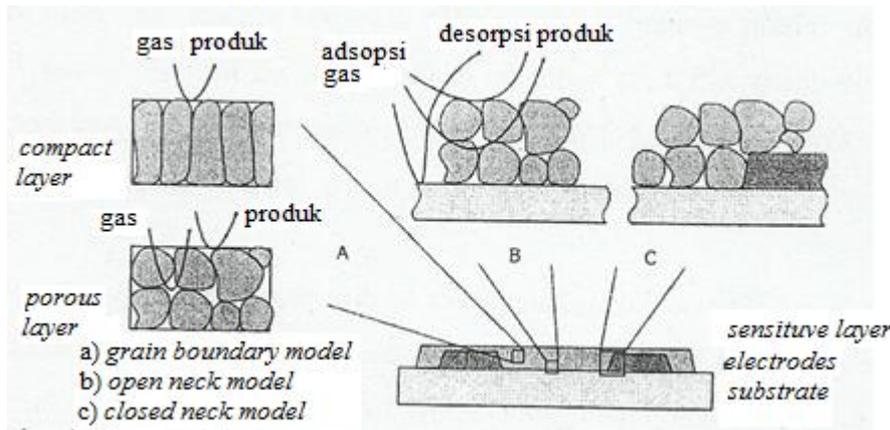
### Mekanisme kerja sensor

Mekanisme kerja sensor gas berbasis SMO menyangkut beberapa proses yang saling berkaitan. Proses pertama adalah terjadinya interaksi antar permukaan metal oksida (lapisan sensitif/ $\text{In}_2\text{O}_3$ ) dengan gas yang dideteksi (gas target). Interaksi ini menyebabkan terjadinya reaksi kimia, dimana sifat reaksinya ditentukan oleh unsur (ion-ion) oksigen yang ada di permukaan lapisan metal oksida ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ). Lapisan aktif  $\text{In}_2\text{O}_3$  yang digunakan hasil eksperimen sintesis  $\text{In}_2\text{O}_3$  nano partikel (Widodo, 2012). Proses kedua adalah proses perubahan sifat listrik (konduktivitas) dari lapisan metal oksida akibat dari reaksi kimia tersebut. Proses ini mula-mula hanya terjadi di daerah permukaan butiran partikel lapisan metal oksida. Selanjutnya terjadi akses oleh partikel metal oksida bagian dalam terhadap gas target. Terjadinya reaksi antara gas dengan permukaan metal oksida dapat dianggap sebagai sebuah proses difusi ke arah substrat dari sensor SMO.

Untuk gas-gas yang bersifat pengoksidasi seperti  $\text{NO}_2$ , molekul-molekul  $\text{NO}_2$  bereaksi dengan elektron ( $e^-$ ) terserap ke permukaan SMO.  $\text{NO}^{2-}$  yang terserap akan mengikat elektronnya ketika bereaksi dengan molekul gas pengoksidasi, sehingga meningkatkan konduktivitas dari lapisan SMO (Wetchakuna *et al.*, 2011). Menggunakan model sederhana, ada dua kemungkinan reaksi yaitu:



Adapun mekanisme kerja dari sensor ini adalah seperti dijelaskan dalam Gambar 1. berikut ini.



**Gambar 1.** Model mekanisme reaksi di permukaan sensor gas berbasis SMO.

Untuk lapisan metal oksida yang padat (*compact*), molekul gas tidak dapat menembus lapisan sensitif dan proses interaksi hanya terjadi di permukaan. Apabila lapisannya bersifat porous, molekul gas bisa menembus ke dalam lapisan sensitive sampai ke substrat. Interaksi dengan gas bisa terjadi di permukaan masing-masing butiran, di perbatasan antar butiran, di interface antara butiran dengan elektroda, dan di interface antara butiran dengan substrat (Barsan *and* Weimar, 2001).

Dari reaksi diatas, terlihat bahwa perubahan konsentrasi oksigen di udara akan mengubah kecepatan reaksi redoks dan mempengaruhi sinyal output dari sensor. Hubungan antara konduktivitas lapisan SMO ( $\sigma$ ) dengan konsentrasi gas target (C) dapat dinyatakan dengan persamaan (3).

$$\sigma = k C^n \quad (3)$$

Dimana k : adalah konstanta proporsionalitas hasil pengukuran yang unik/khas terhadap lapisan SMO, dan eksponen n memiliki rentang dari 0,3 sampai 0,8. Karena sifatnya yang non-linear, biasanya diperlukan proses linearisasi melalui rangkaian elektronik atau software. Selain itu, agar material SMO dapat bereaksi dengan gas target (reaksi redoks dapat terjadi), perlu pemanasan dengan temperatur antara 90 – 250 °C. Menaikkan temperatur sensor berarti memerlukan elemen pemanas (*heater*) yang terintegrasi dengan sensor. Oleh karena itu, sensor gas SMO biasanya memerlukan konsumsi daya yang relatif besar.

### **Bentuk respon sensor**

Pada dasarnya, respon sensor gas teknologi thick film ini adalah perubahan nilai konduktans sensor terhadap perubahan konsentrasi gas. Secara umum dinyatakan sebagai:

$$S = \frac{G}{G_0} \quad (4)$$

Dengan S : Sensitivitas  
 G : Konduktans sensor ketika ada gas pereduksi  
 G<sub>0</sub> : Konduktans sensor ketika tidak ada gas pereduksi.

Persamaan di atas tersebut identik dengan persamaan sensitivitas yang dikemukakan oleh Cirera.

Sesuai statistik Maxwell-Boltzmann, konduktivitas (G) dirumuskan :

$$G = \frac{1}{R} = env \cdot e^{\frac{eV_s}{kT}} \quad (5)$$

Dengan  $v$  adalah *bulk mobility* dan  $n$  adalah konsentrasi elektron.

Sedang  $V_s$  adalah tegangan *Schottky barrier*, didefinisikan sebagai :

$$V_s = \frac{V_0}{\left(1 + \rho \frac{\rho}{\Pi}\right)^2} \quad (6)$$

$V_0$  adalah *barrier height* pada saat tidak ada gas pereduksi, didefinisikan sebagai :

$$V_0 = \frac{2 \cdot e \cdot N_s^2}{\varepsilon \cdot N_D} \quad (7)$$

Sedangkan  $\left(1 + \rho \frac{\rho}{\Pi}\right)^2$  merupakan parameter kondisi gas pada konsentrasi, tekanan dan suhu tertentu.

Dengan :  $N_s$  adalah kerapatan di permukaan *sensing* ( $m^{-2}$ ),

$N_D$  adalah konsentrasi donor (*oxygen vacancies*) ( $m^{-3}$ ),

$e$  adalah muatan elektron (eV)

$\varepsilon$  adalah konstanta dielektrik bahan semikonduktor.

$\rho$  adalah masa jenis gas ( $kgm^{-3}$ )

$p$  adalah Tekanan Parsial gas ( $Nm^{-2}$ )

Sedang  $\Pi$  didefinisikan sebagai :

$$\Pi = \left(\frac{2\pi mkT}{h^2}\right)^{3/2} kT \quad (8)$$

Dengan:

$m$  = masa gas pereduksi (dalam hal ini CO)

$h$  = tetapan planck =  $4,134 \cdot 10^{-5}$  eV

$T$  = suhu absolut ( $^{\circ}\text{K}$ )

Dengan menggunakan persamaan di atas, dan dengan mendefinisikan  $G_0$  sebagai konduktifitas sensor pada udara bebas, maka :

$$G_0 = e v n e^{\frac{eV_0}{kT}} \quad (9)$$

Dari persamaan-persamaan di atas, didapat hubungan persamaan untuk sensitifitas sensor ( $G/G_0$ ) sebagai berikut :

$$\frac{G}{G_0} = \exp \left( \frac{eV_0}{kT} \left( 1 - \frac{1}{\left( 1 + \rho \frac{p}{\Pi} \right)} \right) \right) \quad (10)$$

Pada saat tidak ada gas ( $p=0$ ), persaman sensitifitas menjadi bernilai 1 ( $G/G_0=1$ ). Pada konsentrasi gas tinggi (tekanan tinggi), yaitu ketika  $\rho(p/\Pi) \gg 1$ , maka sensitifitas mencapai titik saturasi :

$$\left. \frac{G}{G_0} \right|_{sat} = e^{\frac{eV_0}{kT}} \quad (11)$$

Dari persamaan (9) dan (10), didapatkan persamaan :

$$\frac{G}{G_0} = \left( \left. \frac{G}{G_0} \right|_{sat} \right)^{\left( 1 - \frac{1}{1 + \beta c} \right)} \quad (12)$$

Dengan  $c$  adalah konsentrasi gas (dalam *ppm*),  $(G/G_0)_{sat}$  dan  $\beta$  adalah parameter yang didapatkan dengan memadukan persamaan dengan data percobaan (Barsan, 2008).

Secara garis besar, sensor gas teknologi thick film ini tersusun atas sepasang elektroda, pemanas dan sensitive layer yang peka terhadap rangsangan gas, yang kesemuanya dicetak pada kepingan substrat dari bahan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 96 %.

Adapun hal - hal yang diharapkan adalah :

1. Modifikasi material metal oksida untuk meningkatkan sensitivitas sensor.
2. Penggunaan sensor array untuk meningkatkan selektivitas sensor.
3. Penggunaan teknologi *thick film* dan teknik Sputtering untuk menghasilkan divais

dengan konsumsi daya yang rendah.

Pemilihan jenis material dan metoda proses yang belum banyak dieksplorasi penggunaannya dalam rancang bangun sensor gas akan memberikan aspek orisinalitas

### **Teknologi fabrikasi divais sensor gas**

Dengan kemajuan di bidang teknologi fabrikasi divais, sensor gas SMO memungkinkan dibuat diatas substrat keramik (teknologi *thick film*) atau silikon (teknologi *thin film*). Dalam teknologi *thick film*, digunakan substrat seperti Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan kemudian lapisan seperti elektroda, heater, dan metal oksida dicetak diatasnya menggunakan teknik screen printing. Karena ketebalan substrat dan lapisannya masih cukup besar, maka divais sensor yang dibuat menggunakan teknologi *thick film* masih memerlukan konsumsi daya yang cukup besar, antara 200 mW – 1W (Williams and Coles, 1977). Konsumsi daya sebesar ini telah membatasi aplikasinya untuk sistem sensor yang portabel.

Dengan teknologi thin film, sensor dibuat menggunakan substrat silikon, dan lapisan-lapisan pembentuknya ditumbuhkan menggunakan proses seperti sputtering, evaporasi, atau *chemical vapor deposition (CVD)*. Untuk mengurangi konsumsi daya, substrat silikonnya bisa dietsa hingga membentuk membran tipis menggunakan teknologi *Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*. Konsumsi daya dari sensor gas SMO dengan teknologi ini berkisar antara 30 – 50 mW (Graf, *et al.*, 2007). Untuk mendeteksi gas  $\text{NO}_2$ , lapisan sensitif yang digunakan dalam sensor SMO biasanya indium oksida ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) (Steffes *et al.*, 2001; Nomani *et al.*, 2011).

Proses konduksi atau perpindahan listrik berlangsung atau terjadi pada molekul-molekul  $\text{In}_2\text{O}_3$ .  $\text{In}_2\text{O}_3$  merupakan bahan semikonduktor tipe-n yang mempunyai celah energy yang relatif lebar (3,6 eV) (Han, 2003). Penyerapan terhadap oksigen (oksidasi) oleh lapisan permukaan akan menarik elektron dari pita konduksi, sehingga kemampuan menghantar listrik jadi berkurang atau nilai resistansinya meningkat. kemudian dengan hadirnya gas seperti  $\text{NO}_2$ , atom-atom N dan O bereaksi dengan oksigen yang telah diserap pada permukaan molekul  $\text{In}_2\text{O}_3$  tadi, yang kemudian akan timbul  $\text{NO}_x$  sebagai hasil reaksinya, dan sekaligus melepaskan elektron-elektron yang telah terikat tadi kembali ke pita konduksi. Sehingga resistansinya turun, dan itu berarti konduktifitasnya meningkat.

Selama tidak ada gas pereduksi, elektron tersebut akan sangat sulit untuk terlepas sehingga terbentuk suatu *surface charge density* yang merupakan potential barrier acuan, disebut juga Schottky barrier. Selanjutnya, pada suhu yang sama pada kondisi ada gas

pereduksi, molekul-molekul gas pereduksi akan bereaksi dengan atom-atom oksigen. Pada reaksi reduksi tersebut elektron yang semula diikat, akan terlepas lagi sehingga berdampak turunnya *level Schottky barrier* secara drastis.

## Perancangan dan proses pembuatan sensor gas

### 1. Tahapan perancangan dan fabrikasi

Untuk mencapai hasil sesuai dengan yang diharapkan, proses pabrikan sensor ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan-tahapan ini bisa dilihat dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Tahapan proses perancangan dan fabrikasi sensor gas

### 2. Spesifikasi sensor

Dalam proses perancangan suatu devais, sebagai langkah awal adalah menentukan spesifikasi dari divais yang akan dibuat. Spesifikasi umum yang diharapkan (Nomani *et al.*, 2011) dari sensor ini adalah sebagai berikut:

- Dimensi :  $\leq 10 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$
- Suhu operasi :  $27 \text{ }^\circ\text{C} - 350 \text{ }^\circ\text{C}$
- Daya kerja heater : 10 W

### 3. Perancangan dan pembuatan tata letak (*lay out*) sensor

Perancangan yang akan dibahas disini ialah ketentuan umum dari perancangan yaitu perancangan *heater*, perancangan elektroda dan perancangan lapisan sensitif.

Suatu sensor gas yang dibuat dengan teknologi film tebal terdiri dari beberapa komponen utama. Selain lapisan sensor itu sendiri, sensor gas tersusun dari sebuah

pemanas atau heater dan sepasang elektroda. Baik heater ataupun elektroda, keduanya merupakan jenis konduktor. Oleh sebab itu dalam perancangan sensor gas teknologi film tebal ini perlu diperhatikan aturan-aturan dalam merancang suatu konduktor film tebal termasuk juga *external pad*.

Selanjutnya, pada aplikasi pemanas (*heater*), supaya temperatur yang dihasilkan bisa dipusatkan pada bagian yang diinginkan, dan pada elektroda supaya kepresisian dimensi lapisan sensor terjaga, maka diperlukan semacam isolator dari bahan dielektrik yang dilapiskan diatas kedua komponen tadi, pelapisan ini disebut juga enkapsulasi.

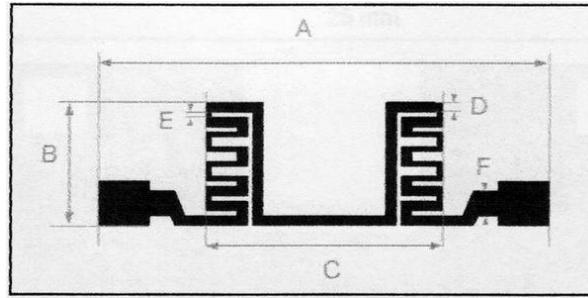
### 3.1 Perancangan pemanas (*Heater*)

Temperatur adalah salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan dari sensor gas teknologi film tebal ini. Distribusi temperatur yang sesuai akan mempengaruhi tingkat selektifitas dan sensitifitas dari elemen sensor ini. Pemanas dirancang terletak bersebelahan dengan elektroda.

Untuk menentukan karakteristik dari *heater*, parameter-parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah: suhu yang diinginkan, daya yang dibutuhkan, dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan heater itu sendiri *Temperature Coefficient Resistance* (TCR) , disipasi arus maksimum yang mampu melewati, dan lain-lain. Untuk itu, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan karakteristik heater yang diinginkan, yaitu:

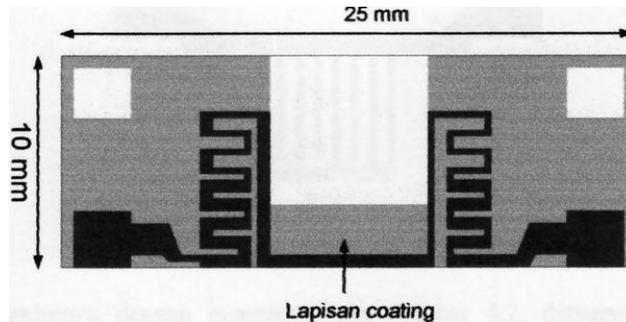
- Th : Temperatur kerja (350 °C)
- Tc : Temperatur awal (25 °C)
- P : Daya pada temperature kerja (10 W)
- TCR : *Temperature Coefficient Resistance* (3900)

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai resitans heater pada temperatur kerja (RH). Perhitungan nilai RH diawali dengan menentukan tegangan sumber, sumber tegangan yang digunakan bervariasi mulai dari 2 V hingga 10 V. Tegangan sumber sebesar 2 V hingga 10 V dipilih dengan pertimbangan dimana dengan tegangan sebesar 10 V temperatur kerja yang diinginkan dapat tercapai dan dengan daya 10 W maka nantinya bisa dihasilkan arus kerja yang cukup yang sesuai dengan karakteristik bahan yang digunakan. Sehingga dihasilkan *desain layout* seperti dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Desain layout heater

Selanjutnya, untuk menghasilkan panas pemanas (*heater*) yang optimal, permukaan pemanas (*heater*) dilapisi dengan sejenis bahan dielektrik tahan panas yang disebut juga coating. Lapisan ini dibuat menutupi daerah efektif pemanas (*heater*), dimaksudkan supaya panas yang dihasilkan tidak terlalu cepat terbuang, melainkan terus mengalir ke elektroda di sisi sebaliknya. Bentuk rancangan lapisan *coating* ini dapat dilihat dalam Gambar 4.

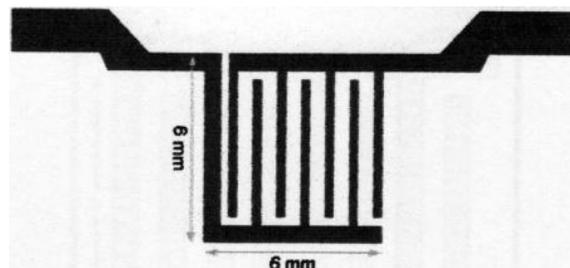


**Gambar 4.** Lapisan *coating* heater

### 3.2. Perancangan elektroda

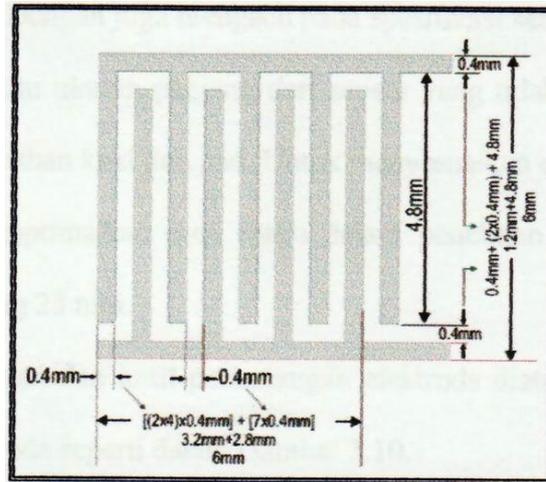
Elektroda yang digunakan pada umumnya adalah sepasang elektroda berbentuk *interdigital fingers* dari bahan *nobel metal* misalnya Au atau Ag. Struktur tersebut dimaksudkan untuk meminimalisasi ruang namun dapat mengoptimalkan daerah sensing, serta memudahkan dalam penentuan nilai resistansi.

Dari luasan lapisan sensor yang diperoleh yaitu 6 mm x 6 mm, maka pasangan elektroda yang direncanakan haruslah memiliki luasan efektif yang sama, luasan yang dimaksud ditunjukkan dalam Gambar 5.



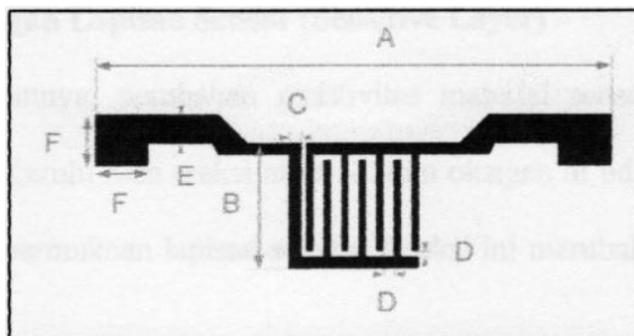
**Gambar 5.** Desain luas efektif elektroda

Selanjutnya dengan mengacu pada Gambar 5, diasumsikan bahwa masing-masing jari memiliki lebar 0,4 mm, panjang 5 mm, dengan jarak antar masing-masing jari 0,4 mm. Dari asumsi-asumsi tersebut, dihasilkan elektroda yang memiliki 4 pasang *interdigitated fingers* dalam area 6mmx6mm. Secara rinci dapat dilihat dalam Gambar 6.



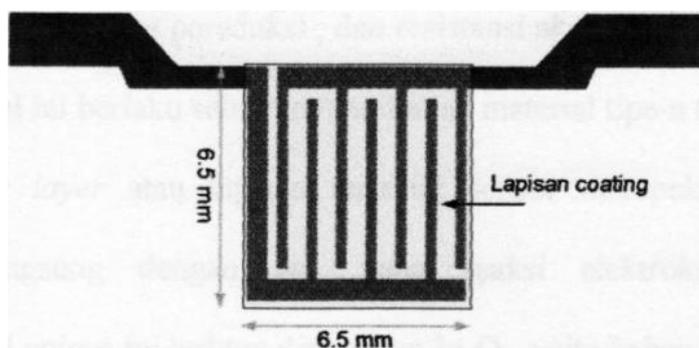
**Gambar 6.** Desain struktur *interdigitated fingers*

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa nilai tersebut hanyalah nilai resistansi masing-masing elektroda pada 6 mm x 6 mm. Sesuai dengan Gambar 6, maka diperlukan *pad-pad* dan kaki-kaki pada elektroda tersebut. Dengan juga mengacu pada spesifikasi sensor yang disebutkan sebelumnya yaitu ukuran panjang dari sensor yang tidak lebih dari 25 mm, maka perlu penambahan kaki dan pad. Untuk menyesuaikan dengan substrat yang tersedia dan mengoptimalkan luas maka dalam penelitian ini panjang sensor ditentukan sepanjang 23 mm. Dari berbagai tahapan dan hasil perancangan elektroda diatas, maka didapatkan *desain layout* elektroda seperti dalam Gambar 7.



**Gambar 7.** Desain *Layout* Elektroda Sensor

Selanjutnya, untuk menjamin luas daerah penyensoran pada elektroda, dibuat lapisan dielektrik di tepi-tepi elektroda seperti dalam Gambar 8.



**Gambar 8.** Lapisan *coating* elektroda

### 3.3. Proses fabrikasi heater dan elektroda

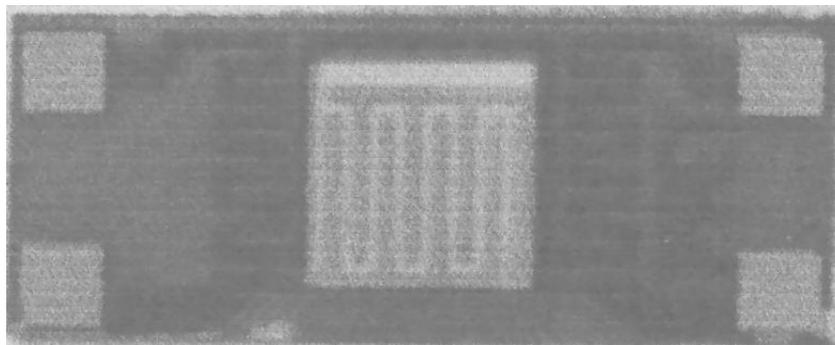
Langkah pertama adalah proses pencetakan, lapisan pertama yang dicetak adalah elektroda. *Screen* dengan pola elektroda diatur sedemikian rupa pada *screen printer* sehingga pola elektroda yang akan dicetak berada pada posisi yang tepat diatas bidang permukaan substrat. Selanjutnya dilakukan pengaturan jarak *snap-off* dan tekanan raket pada *screen printer*. Setelah itu dilakukan proses pencetakan dengan pasta konduktor dari bahan emas. Nama produk pasta yang digunakan adalah D-5670 (*Shoei Chemical Inc.*).

Setelah lapisan elektroda tercetak dengan benar, hasil cetakan didiamkan selama kurang lebih 5 menit, supaya permukaan cetakan menjadi halus dan ikatan pasta menjadi kuat. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven. Temperatur yang digunakan 100 °C selama 15 menit. Pengeringan dilakukan supaya lapisan elektroda tadi menjadi keras. Sampai tahap ini, lapisan elektroda masih bisa dihapus dengan menggunakan *thinner* jika diinginkan pengulangan proses pencetakan.

Setelah proses pengeringan lapisan elektroda, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah proses pencetakan lapisan heater. Pasta yang digunakan untuk lapisan heater ini sama dengan pasta untuk lapisan elektroda, yaitu pasta Palladium Silver (D-5670 produksi *Shoei Chemical Inc.*). Proses ini sama dengan proses pencetakan lapisan elektroda. Pencetakan *heater* dilakukan tepat dibelakang lapisan elektroda. Oleh karena itu diperlukan pengaturan letak masker *heater* yang cermat sebelum proses pencetakan supaya posisi lapisan heater tepat dibalik lapisan elektroda. Seperti pada lapisan elektroda, setelah proses pencetakan, lapisan *heater* juga didiamkan selama 5 menit baru kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperatur 100 °C selama 15 menit.

Setelah proses pengeringan, langkah selanjutnya adalah proses pembakaran. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran (*Conveyor belt furnace RTC LA-310*) yang bisa diatur temperatur dan kecepatannya melalui computer dan program yang sudah built in. Pengaturan temperatur dilakukan pada tiga zone pembakaran

dengan temperatur puncak 850 °C dan lamanya kurang lebih 45 menit. Setelah proses pembakaran, didapatkan hasil seperti dalam Gambar 9.



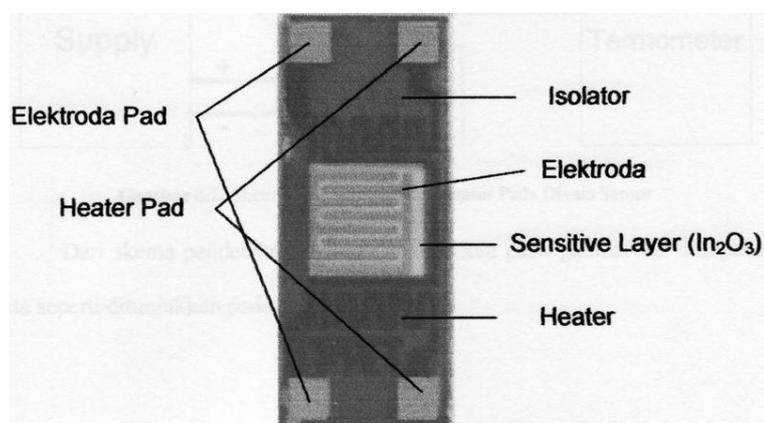
**Gambar 9.** Hasil pembakaran lapisan *heater* dan elektroda

### 3.4. Proses enkapsulasi

Setelah melalui proses pembakaran, *heater* dan elektroda dilapisi lagi dengan lapisan isolator dari bahan dielektrik, proses ini dinamakan enkapsulasi. Proses enkapsulasi pada *heater* dilakukan supaya panas yang dihasilkan tidak cepat terbuang, sedangkan pada elektroda dilakukan untuk menjaga kepresisian dimensi  $\text{In}_2\text{O}_3$ . Bahan yang digunakan adalah pasta dielektrik dari Shoei Chemical Inc. (G-5234).

## PEMBAHASAN

Setelah sensor tersebut mengalami proses fabrikasi, sensor tersebut kemudian diuji. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berbagai parameter yang terdapat pada sensor tersebut, diantaranya adalah suhu kerja *heater*, suhu kerja sensor, resistansi elektroda, tingkat kesensitifan sensor dan reliabilitas sensor. Oleh karena itu dilakukan beberapa tahap pengujian, yaitu pengujian *heater*, pengujian elektroda dan pengujian sensor. Gambar 10 merupakan gambar divais sensor secara keseluruhan hasil proses fabrikasi.

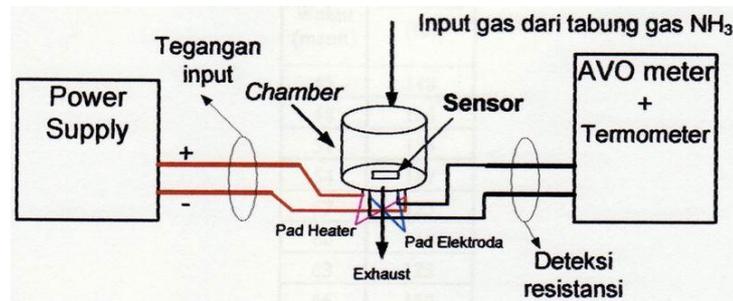


**Gambar 10.** Divais sensor gas  $\text{NO}_2$  dengan lapisan sensitif  $\text{In}_2\text{O}_3$

### Pengujian heater

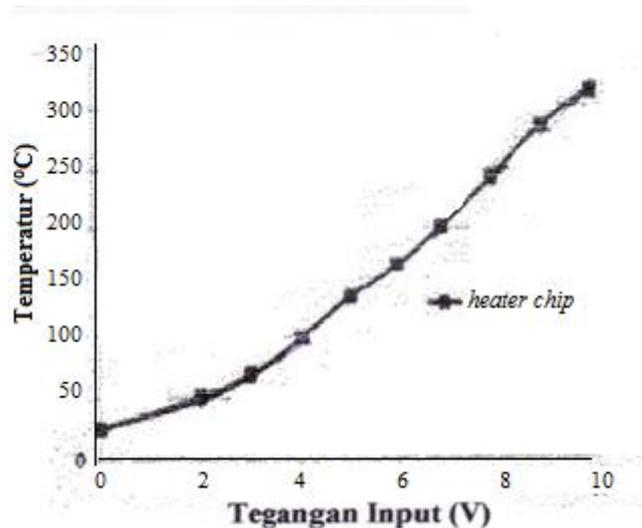
Pada penelitian ini, dilakukan pengujian resistansi heater. Pengujian dilakukan terhadap *chip* hasil fabrikasi, pengukuran dilakukan pada suhu kamar (27 °C). Data hasil pengujian nilai resistansi *heater* menunjukkan bahwa resistansi *heater* bernilai sekitar 8,0  $\Omega$ .

Selain pengujian resistansi juga dilakukan pengujian terhadap temperatur *heater*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah *Power Supply* (*Daiwa DC Power Supply* 9-15/30 A model ps-3000), divais sensor dan sebuah AVO meter yang dilengkapi dengan thermometer dengan tipe Krisbow KW 06-272, dengan pemasangan seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



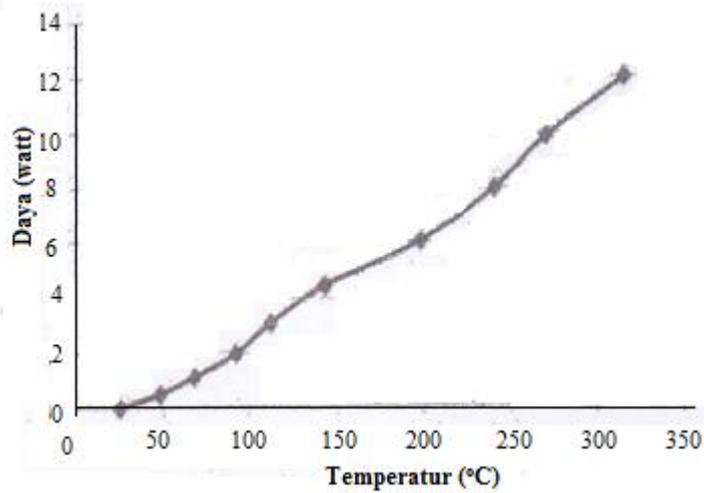
**Gambar 11.** Skema pendeteksian temperatur pada divais sensor

Pengaturan sumber tegangan 0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 volt akan didapatkan temperatur yang semakin tinggi pada *Heater Chip*, dengan semakin dinaikkan tegangannya, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



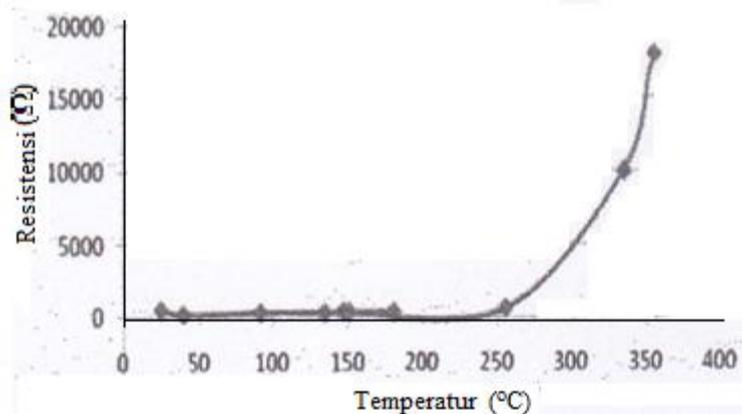
**Gambar 12.** Grafik perubahan temperatur *heater* terhadap perubahan masukan tegangan searah

Dari gambar 12 dapat dilihat pada divais sensor tersebut memerlukan tegangan input hingga 10 volt untuk mencapai temperatur 350 °C. Sedang pada Gambar 13 memperlihatkan semakin tinggi temperatur maka semakin besar pula disipasi daya yang terjadi.

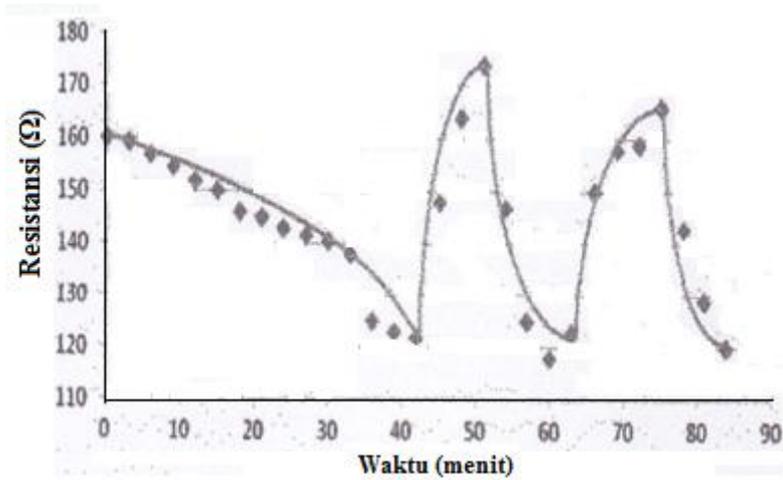


**Gambar 13.** Grafik hubungan perubahan daya terhadap temperatur chip

Dari Gambar 13 dapat dilihat semakin tinggi temperatur yang diperoleh maka semakin besar pula disipasi daya yang terjadi. Selain pengujian *heater*, resistansi lapisan sensitif  $\text{In}_2\text{O}_3$  pun dilakukan pengujian. Hal ini dilakukan supaya dapat diketahui perubahan resistansi pada divais sensor pada saat mengalami pemanasan dan melakukan penyensoran. Grafik pengujian perubahan resistansi lapisan sensitif  $\text{In}_2\text{O}_3$  terhadap perubahan temperatur pemanas (*heater*) dapat dilihat pada Gambar 14. Dari Gambar 14 ini dapat dilihat resistansi lapisan sensitif  $\text{In}_2\text{O}_3$  meningkat seiring dengan meningkatnya suhu.

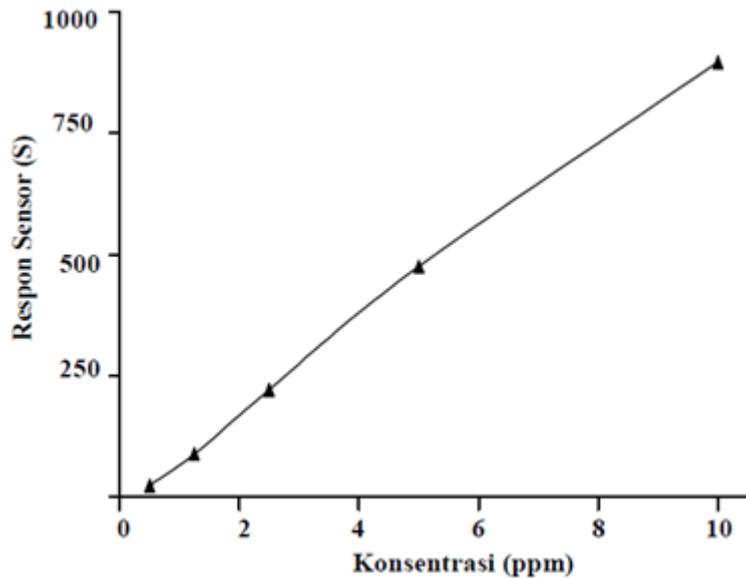


**Gambar 14.** Grafik tanggapan perubahan resistansi terhadap perubahan temperatur



**Gambar 15.** Grafik pengukuran resistansi terhadap waktu pada suhu 150 °C

Gambar 15 dapat dilihat bahwa devais sensor gas mampu mendeteksi (bereaksi) dengan gas  $\text{NO}_2$  (pada konsentrasi: 500 ppb - 10 ppm) walaupun berupa perubahan nilai resistansi yang turun naik dengan bertambahnya kadar gas  $\text{NO}_2$ . Turun naiknya kurva menunjukkan lapisan sensitif ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) sedang mengalami interaksi dengan gas  $\text{NO}_2$ . Gas  $\text{NO}_2$  sedang mengalami adsorpsi kedalam permukaan lapisan sensitif ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) sehingga resistansi divais gas sensor mengalami naik turun, ini menunjukkan divais gas tersebut berfungsi.



**Gambar 16.** Respon sensor terhadap konsentrasi pada suhu optimal 150 °C.

Devais sensor ini dapat bekerja pada selang temperatur antara 25 °C hingga 250 °C. Karakterisasi listrik dari sensor menunjukkan respon meningkat pesat pada lapisan aktif  $\text{In}_2\text{O}_3$  yang berstruktur nano partikel. Gambar 16 menunjukkan korelasi antara respon sensor dan konsentrasi gas  $\text{NO}_2$  ( 500 ppb - 10 ppm ) pada suhu optimal 150 °C. Kurva

karakteristik ini mendekati linear menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi konsentrasi NO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dengan sensitivitas yang meningkat. Oleh karena itu, material In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano partikel sebagai bahan aktif yang menjanjikan untuk fabrikasi sensor gas berkinerja tinggi.

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian divais sensor yaitu pengukuran resistansi sensor terhadap perubahan temperatur didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Pemanas (*Heater*) sensor gas hasil fabrikasi mampu mencapai temperatur kerja 350 °C dengan tegangan masukan sebesar 10 volt, dengan arus 1,25 A dan daya sebesar 12,5 watt.
2. Sensor gas dengan teknologi film tebal yang telah dibuat, telah mampu bereaksi terhadap gas NO<sub>2</sub>, berupa perubahan nilai resistansi sensor yang turun naik dengan bertambahnya gas NO<sub>2</sub>.
3. Kurva karakteristik mendekati linear menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi konsentrasi NO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dengan sensitivitas meningkat. Oleh karena itu, lapisan aktif nano partikel In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai bahan (material) yang menjanjikan untuk fabrikasi sensor gas berkinerja tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barsan, N. and Weimar, U., 2001, Conduction Model of Metal Oxide Gas Sensors, *Journal of Electroceramics*, vol.7, 2001, p. 143-167.
- Barsan, N., 2008, Gas Sensing Mechanisms in Thick and Porous SnO<sub>2</sub> Layers, *Institute for Interface Analysis and Sensor*, Tuebingen.
- Francioso, L., Forleo, A., Capone, S., Epifani, M., Taurino, A.M., and Siciliano, P., 2006, Nanostructured In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SnO<sub>2</sub> sol-gel thin film as material for NO<sub>2</sub> detection, *Sensors & Actuators : B. Chemical*, vol. 144, no. 2, pp. 646 – 655.
- Graf, M., Barretino, D., Baltes, H.P. and Hierlemann, A., 2007, *CMOS Hotplate Chemical Microsensors*, Springer.
- Haskard, M. R., 1988, *Thick Film Hybrid Manufacture and Design*", Prentice Hall, Inc, New Jersey.
- Mizsei, J. and Lantto, V., 1992, Air Pollution Monitoring With A Semiconductor Gas Sensor Array System, *Sensors and Actuators : B. Chemical*, vol. 6, *issue 1 – 3*, pp. 223-227.
- Moseley, P. T., 1994, *Thick-film semiconductor gas sensors*, dalam *Thick Film Sensors*, Prudenziati, M., Elsevier Science, Amsterdam, pp. 289-311.

- Nomani, Md. W.K., Kersey, D., James, J., Diwan, D., Vogt, T., Webb, R.A., and Koley, G., 2011, Highly sensitive and multidimensional detection of NO<sub>2</sub> using In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films, *Sensors and Actuators: B. Chemical*, vol. 160, no. 1, pp. 251 – 259.
- Rodriguez, J. A., and Garcia, M. F. (ed), 2007, *Synthesis, Properties, and Applications of Oxide Nanomaterials*, John Wiley & Sons.
- Wetchakuna, K., Samerjai, T., Tamaekong, N., Liewhirana, C., Siriwonga, C., Kruefua, V., Wisitsoraat, A., Tuantranont, A., and Phanichphant, S., 2011, Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases, *Sensors and Actuators: B. Chemical*, vol. 160, pp. 580– 591.
- Widodo, S., 2012, Proses Sintesis Indium Oksida (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Nano Partikel Dengan Metode Sol Gel Sebagai Lapisan Aktif Pada Sensor Gas, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan Bandung*.
- Williams, G., and Coles, G. S. V., 1997, Micropowered Gas Sensors Using Thick and Thin Films of Semiconducting Oxides, *Sensors and Their Applications VIII*, IOP Publishing, pp. 219-224.