

KARAKTERISASI SENSOR GAS CO BERBASIS BAHAN SnO₂ DENGAN METODA SOLGEL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI FILM TEBAL

I Dewa Putu Hermida¹⁾, Driszal Fryantoni²⁾, Gesi Soleha³⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi – LIPI

²⁾ Pusat Penelitian Informatika – LIPI

³⁾ Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA – UPI, Bandung - 40154

email : putu@ppet.lipi.go.id, idewaputu@gmail.com

driszal@informatika.lipi.id, driszal@yahoo.co.jp

Diterima : 20 Mei 2012

Disetujui : 14 Juli 2012

Dipublikasikan : September 2012

ABSTRAK

Sensor gas SnO₂ termasuk sensor yang paling banyak digunakan dan dikembangkan di pasaran, tapi sampai saat ini belum bisa menghasilkan sensitivitas yang tinggi. Dalam penelitian ini dibahas mengenai karakterisasi sensor gas CO dengan teknologi film tebal yang berbahan SnO₂. Penelitian yang berjudul “Karakterisasi Sensor Gas CO Berbasis SnO₂ Dengan Metode SolGel Menggunakan Teknologi Film tebal” ini diharapkan agar bisa menghasilkan sensitivitas yang tinggi. Dari Hasil XRD didapatkan struktur dari SnO₂ adalah rutile tetragonal . Dari pola difraksi terlihat puncak-puncak 110 dan 101 yang menunjukkan pola difraksi yang terbentuk adalah membentuk kristal SnO₂. Dari hasil SEM ditunjukkan bahwa ukuran sensor berukuran mencapai 264 nanometer. Dari hasil EDS (Energi Dispersy X Ray spektrocropy) ditunjukkan bahwa lapisan sensor yang terbentuk memiliki komposisi O (Oksigen) dengan persen massa 21.23 %), Sn (Stanum) dengan persen massa 78.77%. Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur operasional dan konsentrasi gas terhadap resistansi sensor. Perubahan yang terjadi dalam sensor gas ini, berupa resistansi menurun dengan bertambahnya temperatur, nilai resistansi yang menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi gas CO. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa komponen-komponen penyusun sensor dapat merespon adanya gas CO. Nilai Sensitivitas yang baik didapat dari hasil pengujian untuk rentang konsentrasi gas 0 - 500 ppm adalah $9.10^{-3}/\text{ppm}$.

Kata kunci : sensor gas CO, SnO₂, teknologi film tebal, solgel

ABSTRACT

SnO₂ gas sensor includes a sensor of the most widely used and developed in the market, but until now there has been able to produce high sensitivity. In this study discussed the characterization of CO gas sensor by thick film technology that made SnO₂. The study, entitled "Characterization of SnO₂-Based CO Gas Sensor with SolGel Method using thick film technology" is expected to be able to produce high sensitivity. XRD results obtained from the structure of tetragonal SnO₂ are rutile. Of the diffraction pattern visible peaks 110 and 101 that indicates the diffraction pattern is formed by forming a crystal SnO₂. From the SEM results indicated that the size reached 264 nanometer-sized sensors. From the results of EDS (Energy X-Ray Dispersy Spectroscopy) indicated that the sensor layer is formed has a composition of O (oxygen) with the percent mass of 21:23%), Sn (Stanum) with 78.77% mass percent. Sensor testing conducted to determine the effect of changes in operating temperature and gas concentration sensor resistance. Changes occurring in this gas sensor, a decrease with increasing temperature is resistant, the resistance value decreases with increasing concentration of CO gas. From the test results it was found that the constituent components of the sensor can respond to the CO gas. Sensitivity is good value obtained from the test results for the concentration range of 0 - 500 ppm gas is $9.10^{-3}/\text{ppm}$.

Key words: CO gas sensor, SnO₂, thick film technology, solgel

PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan masalah global yang dialami oleh hampir seluruh kota besar di dunia. Pencemaran udara dapat diakibatkan oleh sumber alamiah seperti letusan gunung berapi, atau bisa berasal dari kegiatan manusia seperti transportasi, industri, dsb. Di Indonesia mayoritas pencemaran udara disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor, dimana zat-zat berbahaya seperti timbal (Pb), oksida nitrogen (NO_x), karbonmonoksida (CO), hidrokarbon, dan *suspended particulate matter* (SPM) yang dikeluarkan dapat mencapai kurang lebih 70% dari keseluruhan pencemaran udara [1].

Pada penelitian ini digunakan teknologi *screen-printing*. Keunggulan dari teknik *screen-printing* atau teknologi *thick-film* ini adalah memungkinkan elemen heater, elektroda dan bahan sensitifnya dapat dilapiskan diatas substrat alumina yang berukuran kecil sehingga konsumsi dayanya dapat diturunkan sehingga dapat mengurangi biaya fabrikasi tiap sensornya. Adapun kelebihan dari sensor gas berbasis SnO₂ adalah masa pemakaian yang lama dan relatif stabil, mempunyai resistansi yang baik terhadap *corrosive gases*, biaya produksi yang relatif murah, dimensi kecil, mudah perawatannya dan memiliki daya serap yang baik terhadap gas CO. Bahan SnO₂ termasuk bahan material oksida, ketersediaan bahan SnO₂ di alam ini sangat berlimpah. Dalam mekanisme pendeteksian gas oleh lapisan metal oksida beserta parameter-parameter yang mempengaruhi sensitivitasnya disebabkan karena sensitivitas SnO₂ terhadap gas memiliki keunggulan dibandingkan bahan lain yaitu dapat dengan mudah ditingkatkan dengan mengubah temperatur kerja sensor dimana bahan SnO₂ ini dapat merespon gas CO dengan temperatur yang rendah serta dengan melakukan perubahan komposisi kimia yang tepat dapat berpengaruh terhadap struktur Kristalnya.

Meskipun sensor gas SnO₂ sensor yang paling banyak digunakan dan dikembangkan, tapi sampai saat ini belum bisa menghasilkan sensitivitas yang tinggi. Sensor yang dikembangkan harus mampu mendeteksi gas dengan konsentrasi rendah dalam orde ppm. Penelitian ini diharapkan mendapatkan nilai sensitivitas yang tinggi.

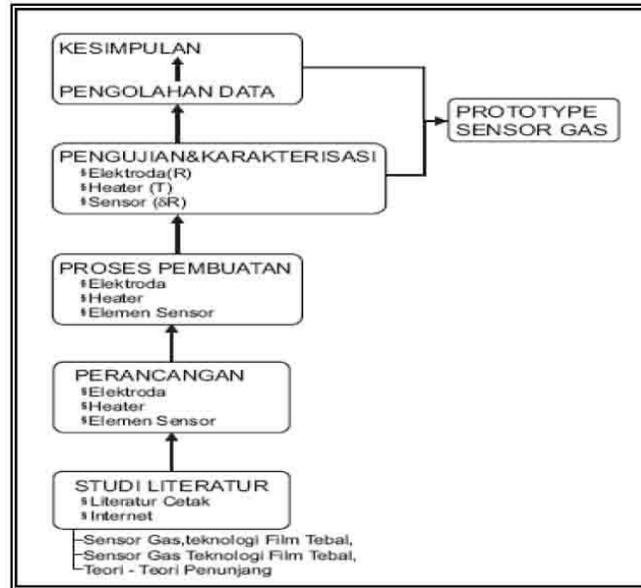
Di dalam laporan Organisasi Kesehatan Dunia, WHO diperkirakan bahwa sekurangnya satu jenis pencemaran udara di kota-kota besar telah melebihi ambang batas toleransi pencemaran udara (UNEP, 1992). Sementara itu dinyatakan pula bahwa sebanyak 75% keberadaan karbon monoksida (CO) di udara berasal dari emisi kendaraan bermotor (Hil, 1984).

Tabel 1 Zat-zat pencemar udara, sumber emisi, dan standar kesehatan menurut WHO

PENCEMAR	SUMBER	STANDAR KESEHATAN
Karbon monoksida (CO)	Buangan kendaraan bermotor	10 mg/m ³ (9 ppm)
Sulfur dioksida (SO ₂)	Fasilitas pembangkit listrik	80 µg/m ³ (0.03 ppm)
Partikulat Matter (SPM)	Buangan kendaraan bermotor	50 µg/m ³ selama 1 tahun
Nitrogen dioksida (NO ₂)	Buangan kendaraan bermotor	100 pg/m ³ (0.05 ppm) selama 1 jam
Ozon (O ₃)	Terbentuk di atmosfer	235 µg/m ³ (0.12 ppm) selama 1 jam

METODE

Untuk melaksanakan penyusunan penelitian ini penulis menggunakan beberapa metode penelitian dan penyusunan laporan, yaitu: studi literatur, serangkaian proses pengujian, pengambilan data, pengolahan data percobaan, sampai pengambilan kesimpulan. Secara sistematis dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Langkah – Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Langkah-langkah penelitian

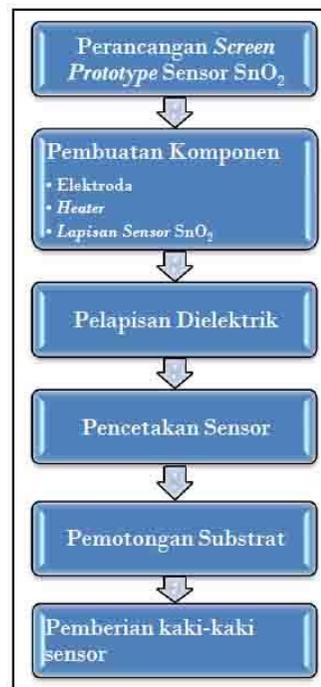
Tahapan Perancangan dan Pabrikasi

Untuk mencapai hasil sesuai dengan yang diharapkan, proses pabrikasi sensor ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan – tahapan ini bisa dilihat dalam Gambar 3.

Spesifikasi Sensor

Dalam proses perancangan suatu devais, sebagai langkah awal adalah menentukan spesifikasi dari devais yang akan dibuat. Adapun spesifikasi umum yang diharapkan peneliti dari sensor ini adalah sebagai berikut :

- Dimensi : ≤ 10 mm x 25 mm
- Suhu operasi : 25^oC – 300^oC
- Daya Kerja *heater* : 3W
- Jangkauan Pengukuran : 0 ~ 1250 ppm



Gambar 3. Tahapan Proses Perancangan dan Pabrikasi Sensor Gas

Perancangan Lapisan Sensor (*Sensitive Layer*)

Terjadinya perubahan resistivitas material sensor ketika bereaksi dengan gas dipengaruhi oleh reaksi atom – atom oksigen di udara dengan atom – atom oksigen di permukaan lapisan sensor. Reaksi ini merubah *potential barrier* antar ikatan atom. Reaksi diawali ketika lapisan material sensor mengikat oksigen dari udara, oksigen tersebut menjadi bermuatan negatif sehingga terbentuk *potential barrier* yang disebut *Schottky barrier*. Ketika ada gas (misal: gas CO), maka gas ini akan bereaksi dengan oksigen yang telah terikat pada permukaan lapisan sensor ($CO+O^{2-} \rightarrow CO_2+2e^-$) yang mengakibatkan perubahan *Schottky barrier*.

Pada umumnya, sinyal respon sensor ditentukan menurut jenis material sensor dan gas yang disensor. Untuk gas, digolongkan menjadi gas pengoksidasi dan gas pereduksi, sedangkan untuk material sensor dapat diklasifikasikan menjadi material tipe-p atau tipe-n sesuai dengan respon sinyalnya. Pada material tipe-p, nilai resistans akan bertambah ketika bereaksi dengan gas pereduksi., dan resistansi akan berkurang terhadap gas pengoksidasi, hal ini berlaku sebaliknya terhadap material tipe-n (Cirera,2000:29).

Sensitive layer sensor merupakan bagian yang berinteraksi langsung dengan gas, yang reaksi elektrokimia terjadi di permukaannya. Lapisan ini terbuat dari bahan SnO₂, yaitu bahan *metal oxide* tipe-n yang sensitif terhadap molekul – molekul gas pereduksi.

Langkah pertama yang dilakukan dalam merancang lapisan sensor adalah menentukan jangkauan pengukuran maksimal dari dari sensor dalam satuan *ppm*, dalam perancangan ini jangkauan maksimal yang diharapkan adalah 1000 *pp*. Karena pada proses ini yang terjadi adalah reaksi gas, maka satuan *ppm* dirubah menjadi *mol/L*. Dengan menganggap gas adalah gas pada kondisi ideal, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{mol}{L} = ppm \times \frac{1 mol}{24.15 L} = 4.145 \times 10^{-5} \frac{mol}{L}$$

Selanjutnya dengan menentukan massa CO di udara, dalam 1 Liter udara, dengan *MCO* adalah Molaritas CO = 28 g/mol, maka didapat massa CO:

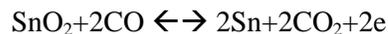
$$4.14 \times 10^{-5} \frac{mol}{L} \times MCO = 115.92 \times 10^{-5} \frac{g}{L}$$

Jadi dalam 1 Liter udara terdapat 115.92 x 10⁻⁵ g CO

Langkah selanjutnya adalah menentukan mol CO dalam 1 L udara, yaitu

$$mol CO = \frac{mass CO}{MCO} = \frac{115.92 \times 10^{-5} g}{28 \frac{g}{mol}} = 0.00004 mol$$

Dengan mengacu pada persamaan reaksi kesetimbangan antara gas CO dan SnO₂, yang merupakan reaksi antara atom – atom O₂ di permukaan dengan molekul – molekul CO dari udara, yaitu:



Maka dapat diketahui perbandingan molaritas antara gas - gas pereduksi dan SnO₂, yaitu molaritas SnO₂ adalah 2 kali molaritas CO, sehingga:

$$mol SnO_2 = 2 \times mol CO = 0.00008 mol$$

Perancangan Elektroda

Elektroda yang digunakan pada *thick film gas sensor* pada umumnya adalah sepasang elektroda berbentuk *interdigital fingers* dari bahan *nobel metal* misalnya Ag. Struktur tersebut dimaksudkan untuk meminimalisasi ruang namun dapat mengoptimalkan daerah *sensing*, serta memudahkan dalam penentuan nilai resistans. Adapun stuktur yang direncanakan adalah seperti dalam Gambar 4.

$$V = A \times t$$

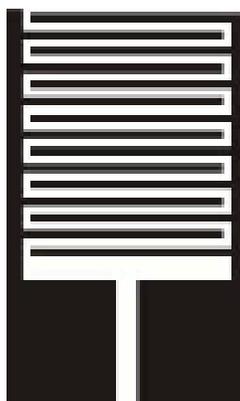
dengan :

A : luas permukaan lapisan sensor (cm²)

t : tebal permukaan lapisan sensor (50Ωm = 5.10⁻³cm).

Dari luasan lapisan sensor yang diperoleh dari persamaan diatas diperoleh yaitu (6 x 6) mm, maka pasangan elektroda yang direncanakan haruslah memiliki luasan efektif yang sama, luasan yang dimaksud ditunjukkan dalam Gambar 5 dibawah ini.

Selanjutnya diasumsikan bahwa masing masing jari memiliki lebar 0.4 mm, panjang 5 mm, dengan jarak antar masing-masing jari 0.4 mm. Dari asumsi tersebut, dihasilkan elektroda yang memiliki 4 pasang *interdigitated fingers* dalam area (6 x 6) mm.



Gambar 4. Rencana Struktur Elektroda

Dari persamaan dibawah ini dan gambar diatas dapat dihitung nilai resistans efektif masing – masing elektroda sebagai berikut

$$R_{el} = \left(\frac{l_1}{w} + \frac{l_2}{w} + 0.56 \right) R_s$$

dengan:

- R_{el} : nilai resistans elektroda efektif (Ω)
- l_1 : panjang jalur konduktor horisontal (mm)
- l_2 : panjang jalur konduktor vertikal (mm)
- w : lebar jalur konduktor (mm)
- R_s : nilai lembar resistans ($m\Omega/square$)

Dalam penelitian ini pasta yang digunakan adalah pasta Ag dengan $R_s = 20 m\Omega/square$. Dari perancangan diketahui bahwa $l_1=4.8mm$, $l_2=1.2mm$, dan $w=0.4mm$, maka dari persamaan diatas didapatkan nilai resistans efektif R_{el} elektroda nilai resistans efektif masing–masing elektroda sebesar 1.2448 Ω .

Hal ini dapat dihubungkan dengan waktu transit elektron. $Wt=L/\mu E$. Dimana L adalah jarak antar finger, μ adalah mobilitas pembawa muatan yang berhubungan dengan karakteristik bahan semikonduktor (SnO₂), dan E adalah medan listrik /tegangan yang diberikan.

Pada elektroda ini terjadi persambungan logam (Ag) dengan bahan semikonduktor (SnO₂) yang menimbulkan kapasitansi. Kapasitansi dipasang seri sehingga mengakibatkan kapasitansinya berkurang, maka desain jarak antar finger dipasang saling berdekatan untuk meminimalisasi ruang.

Tabel 2. Keterangan Dimensi Layout Elektroda

Keterangan	Ukuran (mm)
Panjang Elektroda	14.5
Lebar Elektroda	9
Lebar jari-jari elektroda	0.4
Jarak antar jari-jari elektroda	0.4
Panjangxlebar pad elektroda	4x4

Perancangan Heater(Pemanas)

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 ini dirancang terletak tepat di sisi belakang substrat.

Untuk menentukan karakteristik dari *heater*, parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah: suhu, daya dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan *heater* itu sendiri. Untuk itu, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan karakteristik *heater* yang diinginkan, yaitu :

- T_h : Temperatur kerja (300°C)
- T_c : Temperatur awal (25°C)
- P : Daya pada temperatur kerja (3W)
- TCR : *Temperature Coefficient Resistance* (3600)

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai resistans *heater* pada temperatur kerja (R_H). Perhitungan nilai R_H diawali dengan menentukan tegangan sumber, sumber tegangan yang digunakan adalah sebesar 3V. Tegangan sumber sebesar 3 V dipilih dengan pertimbangan dengan daya 3 W maka nantinya bisa dihasilkan arus kerja yang cukup yang sesuai dengan karakteristik bahan yang digunakan. Selain itu juga mempertimbangkan segi kepraktisan karena sumber tegangan 3V sudah banyak tersedia di pasaran dengan berbagai macam tipe.

Dengan sumber 3V dan daya yang diinginkan 3W, maka arus kerja heater adalah :

$$I = \frac{P}{V} = 1 \text{ A}$$

nilai resistans *heater* pada suhu operasi (R_H) adalah :

$$R_H = \frac{V}{I} = 3\Omega$$

Selanjutnya dengan menentukan nilai TCR dari *data sheet* ($TCR=3600 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$), temperatur awal ($T_C = 25^\circ\text{C}$), dan temperatur operasi ($T_H = 300^\circ\text{C}$), serta memasukkan nilai R_H , maka didapat nilai resistans *heater* pada suhu acuan (R_C).

$$T_{CR} = \frac{[(R_H - R_C) \times 10^6]}{[R_C(T_H - T_C)]}$$

Sehingga diperoleh harga $R_C = 1.50 \Omega$

Setelah nilai R_C didapat, maka dapat ditentukan dimensi dari *heater*, yaitu:

$$R_C = R_S \frac{l}{w}$$

dengan :

R_S : lembar resistans = $20 \text{ m}\Omega/\text{sq}$,

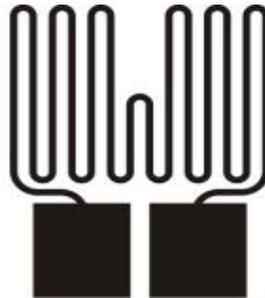
l : panjang konduktor *heater* (mm), w : lebar konduktor *heater* diasumsikan = 0.4 mm ,

Sehingga diperoleh harga $l = 3$ cm, dan dibentuk menyerupai spiral dalam luas area maksimum 1 cm^2 . Ditetapkan 1 cm^2 dimaksudkan supaya *heater* dapat mencakup seluruh bagian elektroda di sisi baliknya. Dari persamaan diatas dihasilkan nilai $R_c = 1.5\Omega$, nilai ini hanya nilai resistansi dari elemen *heater*, belum ditambah dengan nilai R kaki – kaki.

Perhitungan nilai R *heater* menjadi

$$R = R_c + R_{kaki} = 1.58\Omega$$

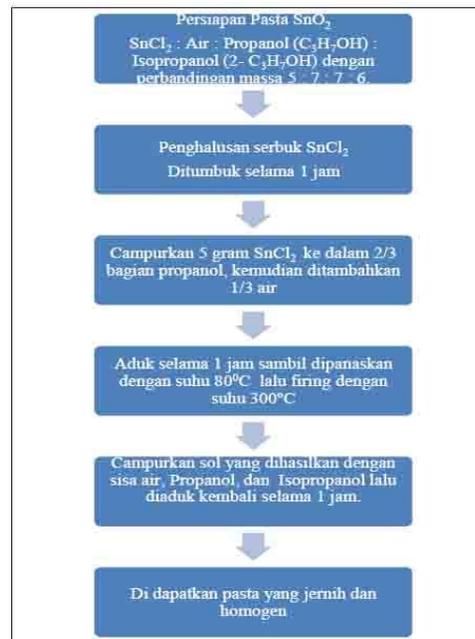
Sehingga dihasilkan desain *layout* seperti dalam Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Desain *Layout Heater*

Untuk menentukan karakteristik dari *heater*, parameter–parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah: suhu, daya dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan *heater* itu sendiri (T_{CR} , disipasi arus maksimum yang mampu melewati, dll).

Pembentukan Pasta SnO₂



Gambar 7. Urutan Proses Pembentukan Pasta SnO₂

Pengujian Sensor

Peralatan dan Bahan

- Sumber arus searah.
- Multimeter digital.
- Thermometer digital.
- Chamber.
- Gas CO murni.

Pengujian Perubahan Resistansi Sensor Terhadap Temperatur

- Rangkaian pengujian disusun seperti dalam gambar dibawah ini, dimana sumber arus searah diberikan untuk menghasilkan panas pada heater yang selanjutnya merubah resistansi sensor.
- Masukkan *heater* berupa arus searah sebesar 1.3 A.
- Dengan memvariasikan suhu kerja dimulai dari 100-180⁰C didapatkan perubahan pada resistansi sensor



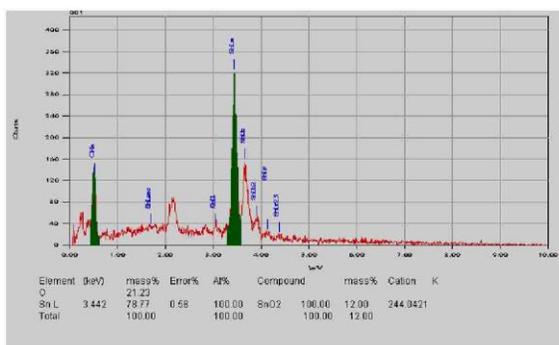
Gambar 8. Pengujian Perubahan Resistansi Sensor terhadap temperatur

Pengujian perubahan Resistansi sensor terhadap perubahan konsentrasi gas CO

- Rangkaian pengujian disusun seperti dalam Gambar 8. Sumber arus searah diberikan sebesar 1.3 A.
- Nilai temperatur awal (T_c) diukur pada temperatur ruangan saat pengujian, dan pada udara bersih.
- Resistansi awal (R_o) diukur ketika dalam udara bersih.
- Interval gas CO adalah 250-1250 ppm.
- Dengan memvariasikan konsentrasi gas antara 250-1250 ppm didapatkan perubahan resistansi sensor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

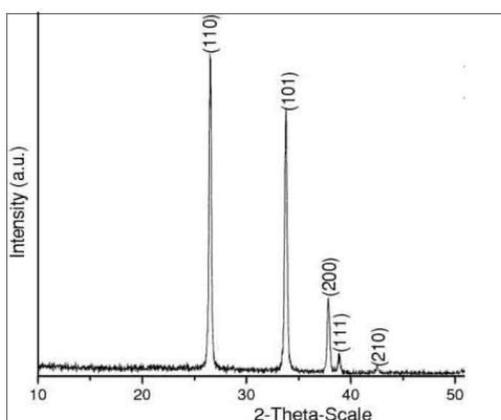
Pada gambar 9 diperlihatkan pola Difraksi Sinar-X dari sensor dengan suhu *firing* 650⁰C. Dari hasil XRD dapat diketahui bahwa lapisan sensitif yang digunakan adalah SnO₂. Parameter kisi dari hasil data XRD adalah $a = 4.737 \text{ \AA}$ dan $c = 3.185 \text{ \AA}$. Dari pola difraksi terlihat puncak-puncak dengan pola orientasi kristal SnO₂ adalah 110 dan 101 yang menunjukkan pola difraksi yang terbentuk adalah membentuk kristal SnO₂. Dari semua puncak yang muncul dapat disimpulkan struktur dari SnO₂ adalah *rutile tetragonal*.



Gambar 9. XRD Sensor Berbasis SnO₂

Karakterisasi menggunakan EDS

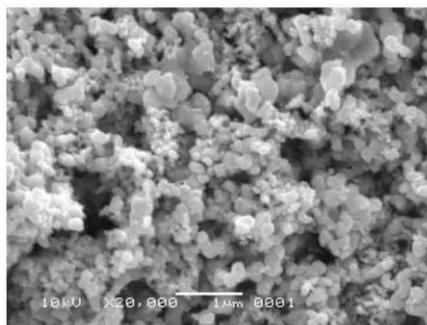
Dari hasil EDS dapat diketahui bahwa material yang digunakan mengandung senyawa SnO₂. Ini berarti dengan metode sol-gel didapatkan kristal SnO₂. Dimana elemen-elemen penyusunnya adalah O dengan persen massa 21.23%, Sn dengan persen massa 78.77%. Puncak Sn dapat diketahui pada energy 3.442 keV.



Gambar 10. EDS Bahan SnO₂

Karakterisasi menggunakan SEM

Untuk mengetahui ukuran partikel-partikel SnO₂ hasil sintesis maka dilakukan pengambilan Gambar dengan SEM.



Gambar 4.3 Hasil SEM perbesaran 20000X

Pengujian Sensor

Data hasil pengujian perubahan resistansi sensor terhadap temperatur operasional pada Tabel 3. Sedangkan hasil pengujian perubahan resistansi sensor terhadap konsentrasi gas CO, diperoleh data seperti dalam Tabel 4.

Tabel 3. Data Pengujian Perubahan Resistans Sensor Terhadap Perubahan Temperatur Operasional

R (Ohm)	Konsentrasi Gas CO (ppm)
586	0
422	250
130	500
114	750
100	1000
97	1250

Tabel 4. Data Pengujian Perubahan Resistansi Sensor Terhadap Perubahan Konsentrasi gas CO

V (Volt)	T ($^{\circ}$ C)	R (K Ohm)
1,88	100	17,47
2,12	110	13,66
2,37	120	10,87
2,49	130	9,99
2,69	140	5,86
2,8	150	4,66
2,91	160	1,53
3,05	170	0,878
3,25	180	0,586

Data nilai sensitivitas sensor terhadap perubahan konsentrasi gas CO diperoleh data seperti dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data Pengujian Nilai Sensitivitas terhadap perubahan konsentrasi gas CO

Konsentrasi Gas CO (ppm)	R (Ω)	S
0	586	
250	422	1,38862
500	130	4,50769
750	114	5,14035
1000	100	5,86
1250	97	6,04123

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada pendahuluan, dasar teori, hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Harga resistansi sensor SnO₂ cenderung menurun secara logaritmik untuk setiap kenaikan temperatur operasional
2. Resistansi sensor menurun untuk konsentrasi gas CO yang semakin tinggi.
3. Sensitivitas sensor meningkat eksponensial untuk konsentrasi gas CO yang semakin tinggi. Dan sensitivitas terbesar didapatkan untuk konsentrasi gas CO 0 – 500 ppm yaitu $9 \cdot 10^{-3}$ tiap 1 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.V. Patil, C. G. Dighavkar, S. K. Sonawane, S. J. Patil, R. Y. Borse, *Effect of Firing Temperature on Electrical and Structural characteristic of Screen Printed ZnO Thick Film*, Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials, Vol. 1,2009.
- [2] Anonim [http://www.google.com/search?SnO₂](http://www.google.com/search?SnO2) .
- [3] Anonim <http://www.kimianet.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1100398016&2> 20 september 2008 Australia : Prentice Hall.
- [4] B. LICZNERSKI, *Thick-film Gas microsensors based on tin oxide*, Faculty of Microsystem Electronics and Photonic, Wroclaw, Poland.
- [5] Barsan N. “Gas sensing Mechanisms in Thick and Porous SnO₂ layers”, *Institute for Interface Analysis and Sensors*, Tuebingen, Germany.
- [6] C. J. Brinker and G. W. Scherer, *Sol-Gel Science - The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, New York, Academic Press, 1990.
- [7] Departemen Pendidikan Nasional Universitas pendidikan Indonesia. (2010).
- [8] Haskard, Malcolm, R. (1988). *Thick Film Hibrid. Manufacture and Design*.
- [9] *Pedoman penulisan Nasional Karya Ilmiah*. Bandung: Departemen Pendidikan Universitas pendidikan Indonesia.
- [10] Van Vlack.H larence.1992.Ilmudan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan bukan Logam (Terjemahan Sriati Djaprie).edisi kelima.Jakarta.Erlangga.
- [11] Weimar U., “Understanding the fundamental principles of metal oxide based gas sensors; the example of CO sensing with SnO₂ sensors in the presence of humidity”, *Institute of Physical and Theoretical Chemistry*, University of Tuebingen, Germany. 2003.