

## Karakteristik Arus-Tegangan Komposit dari Bahan Semikonduktor ZnO-TiO<sub>2</sub> Sebagai Sensor Gas Hidrogen

Rozi Riwanda\*, Elvaswer

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang, 25163

\*rozi.riwanda@gmail.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet dengan bahan ZnO-TiO<sub>2</sub>. Proses pembuatan sensor gas hidrogen diawali dengan pencampuran bahan menggunakan metode reaksi dalam keadaan padat. Sensor gas hidrogen diuji pada temperatur ruang dengan melihat karakteristik *I-V*, nilai sensitivitas, nilai konduktivitas, dan waktu respon. Berdasarkan karakteristik *I-V* diketahui bahwa sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> memiliki sensitivitas 6,67 pada tegangan 21 volt lebih tinggi daripada sampel 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> sebesar 4,5 pada tegangan 3 volt. Nilai konduktivitas sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $2,15 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$  lebih tinggi daripada sampel 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $1,34 \times 10^{-3}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon dilakukan pada sampel yang memiliki sensitivitas yang lebih tinggi yaitu pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub>. Waktu respon pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> pada tegangan 21 volt adalah 48 detik.

Kata kunci: sensor gas hidrogen, ZnO-TiO<sub>2</sub>, konduktivitas, sensitivitas, wakturespon

### ABSTRACT

*The characterization of hydrogen gas sensor in the form of pellets made of ZnO-TiO<sub>2</sub> was performed. The preparation of hydrogen gas sensor starts with the mixing of the materials used solid state reaction method. Hydrogen gas sensor was tested at room temperature by investigating the characteristic I-V, sensitivity, conductivity, and response time. Based on the I-V characteristic it is known that a sample of 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> has a sensitivity of 6.67 at a 21 volt voltage higher than a sample of 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> at a voltage of 3 volt. The conductivity value of the sample of 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> was  $2.15 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$  higher than the sample of 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> was  $1.34 \times 10^{-3}$  in the hydrogen environment. The response time of the sample 70% mol of ZnO + 30% of TiO<sub>2</sub> at 21 volt is 48 s.*

*Keywords : hydrogen gas sensor, ZnO-TiO<sub>2</sub>, sensitivity, conductivity, response time*

## I. PENDAHULUAN

Hidrogen merupakan unsur kimia yang paling sederhana dengan satu proton dan satu elektron. Hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas yang sangat mudah terbakar. Hidrogen digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan, produksi metanol, dan banyak digunakan pada pembangkit listrik sebagai pendingin generator (Young, 1991). Di samping kelebihan yang dimiliki, hidrogen juga mempunyai kekurangan, yaitu pada penyimpanannya. Pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat oleh mata manusia sehingga kebocoran gas hidrogen sulit untuk dideteksi secara visual. Untuk mendeteksi kebocoran gas hidrogen, diperlukan sensor gas hidrogen (Aygün dan Cann, 2005).

Sensor gas banyak dikembangkan menggunakan bahan semikonduktor logam oksida seperti, TiO<sub>2</sub> (*titanium dioxide*), ZnO (*zinc oxide*), CuO (*copper oxide*), dan ITO (Indium Timah Oksida) untuk pendeteksi gas H<sub>2</sub> (*hydrogen*), CO (karbon monoksida), CH<sub>4</sub> (metana), dan hidrokarbon lainnya (Wang, dkk., 1998). Sensor dengan bahan semikonduktor memiliki kelebihan dalam mendeteksi gas, salah satunya dapat dilihat dari perubahan konduktivitas pada bahan semikonduktor. Kelebihan lain dari sensor semikonduktor yaitu biaya bahan dan pembuatan yang murah dibandingkan dengan sensor elektrokimia dan optik (Hendri, 2012). Penelitian tentang sensor gas hidrogen sebelumnya telah dilakukan oleh Aygün dan Cann (2004) dengan meneliti bahan semikonduktor CuO/ZnO pada keadaan padat yang didoping dengan bahan monovalen (Li, Na) dan isovalen (Ca, Sr, Ni). Hasilnya menunjukkan sensitivitas tertinggi pada sampel CuO/ZnO dengan doping 2,5 % mol Ni yaitu 6,2 pada tegangan 0-20 volt. Mondal, dkk. (2014) juga telah melakukan penelitian sensor gas hidrogen dengan menggunakan bahan komposit ZnO-SnO<sub>2</sub>. Hasil yang didapat yaitu waktu respon 60 detik untuk 10000 ppm gas hidrogen pada suhu 150 °C. Selanjutnya, Shaposhnik, dkk. (2012) meneliti sensor gas

hidrogen menggunakan bahan semikonduktor SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>. Penelitian dilakukan pada lima sampel dengan persentase yang berbeda-beda. Waktu respon yang didapat untuk semua sensor sebesar 12-14 detik pada suhu 450-500 °C.

Penelitian ini akan membuat sensor dari bahan semikonduktor komposit ZnO-TiO<sub>2</sub>. Bahan ZnO banyak digunakan sebagai bahan sensor gas, karena ZnO merupakan bahan yang memiliki stabilitas termal dan temperatur kerja yang baik, serta memiliki sensitivitas yang tinggi (Cao, dkk. 2009). Sedangkan, bahan TiO<sub>2</sub> digunakan karena beberapa kelebihan di antaranya memiliki sifat listrik yang baik dan permukaan yang mudah bereaksi secara kimia, memiliki stabilitas termal yang baik, serta harga yang relatif murah. Sensor dari bahan ZnO dan TiO<sub>2</sub> ini diharapkan dapat memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas hidrogen dan dapat beroperasi pada temperaturruang.

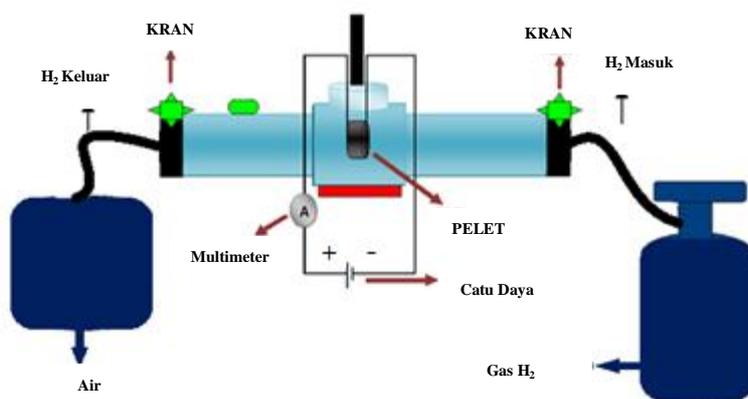
## II. METODE

### 2.1 Persiapan Pembuatan Pelet ZnO-TiO<sub>2</sub>

Pada penelitian ini dibuat pelet dengan persentase ZnO:TiO<sub>2</sub> yaitu 30% mol ZnO:70% mol TiO<sub>2</sub> dan 70% mol ZnO : 30% mol TiO<sub>2</sub>. Sampel pelet yang diuji memiliki ketebalan  $3 \times 10^{-3}$  m dan luas penampangnya  $7,54 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>. Sampel digerus selama 2 jam menggunakan mortar dan lumpang agar sampel menjadi halus, dan dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi bahan digerus kembali, agar butir-butir yang menggumpal menjadi lebih halus. Bahan dikompaksi sehingga berbentuk pelet, kemudian pelet di-sintering pada suhu 700 °C selama 4 jam.

### 2.2 Karakterisasi Sensor Gas Hidrogen

Pelet yang telah di-sintering diuji performanya dengan skema rangkaian dapat dilihat pada Gambar 1. Skema diatas memperlihatkan bahwa alat pengujian berfungsi untuk mengalirkan gas hidrogen. Pelet dirangkai bias maju dengan menghubungkan salah satu elektroda dengan kutub positif sedangkan elektroda lainnya dengan kutub negatif. Posisi elektroda dibalik ke pengukuran dengan bias mundur. Amperemeter dihubungkan secara seri dengan sumber tegangan dan pelet. Pengukuran bias maju dan bias mundur diberikan variasi tegangan dari -30 volt sampai 30 volt dengan kenaikan 3 volt.



Gambar 1 Skema Rangkaian Alat Pengujian Sensor Hidrogen

Karakteristik  $I$ - $V$  diukur untuk menentukan sensitivitas dan konduktivitas sensor. Nilai sensitivitas dan konduktivitas dihitung menggunakan Persamaan 1. Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu gas.

$$S = \frac{I_{hidrogen}}{I_{udara}} \quad (8)$$

dengan  $I_{hidrogen}$  adalah arus pada lingkungan hidrogen (mA),  $I_{udara}$  adalah arus pada lingkungan udara (mA), dan  $S$  merupakan sensitivitas.

Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (9)$$

dimana  $\sigma$  konduktivitas listrik ( $1/\Omega.m$ ),  $R$  adalah resistansi ( $\Omega$ ),  $A$  adalah luas penampang ( $m^2$ ), dan  $L$  adalah ketebalan sampel ( $m$ ).

XRD digunakan untuk melihat ukuran kristal dari sampel. Ukuran kristal dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad (10)$$

dimana  $D$  adalah ukuran kristal,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $B$  adalah lebar penuh garis difraksi pada saat intensitas setengah maksimum (*Full Width Half Maximum*, FWHM), dan 0,9 merupakan nilai konstanta material untuk partikel bulat.

### III. HASIL DAN DISKUSI

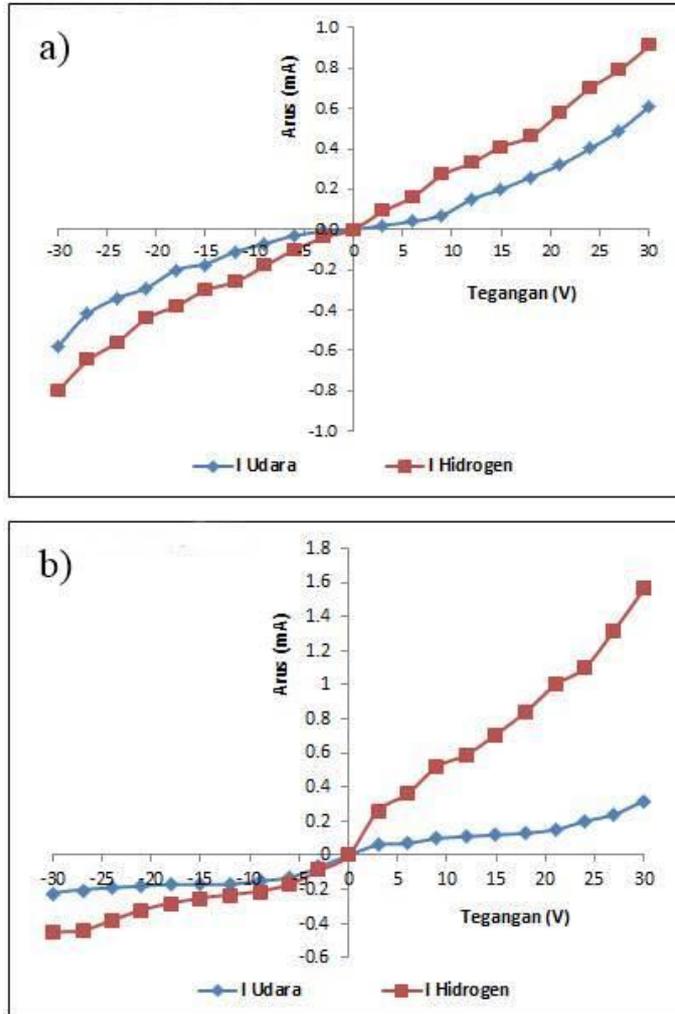
#### 3.1 Karakteristik *I-V* pada Lingkungan Hidrogen dan Udara

Karakteristik *I-V* masing-masing sampel pada lingkungan hidrogen dan udara dapat ditampilkan sebagai grafik arus-tegangan. Pengukuran nilai arus dan tegangan dilakukan pada temperatur ruang. Karakterisasi *I-V* untuk berbagai komposisi ZnO-TiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan arus pada bias maju lebih tinggi dibandingkan pada bias mundur. Hal ini disebabkan karena sampel yang dirangkai bias maju mengakibatkan terjadinya pengecilan daerah deplesi sehingga *hole* sebagai pembawa muatan mayoritas pada tipe-*p* akan berpindah melalui sambungan tipe-*n*. Elektron yang bersifat sebagai pembawa muatan mayoritas pada tipe-*n* akan berpindah melalui sambungan ke tipe-*p*. Sampel dirangkai pada bias mundur mengakibatkan pelebaran daerah deplesi karena elektron dan *hole* sebagai pembawa muatan sebagian besar akan tertarik menjauhi sambungan sehingga arus pada bias maju lebih besar dibandingkan pada bias mundur.

Grafik *I-V* menunjukkan nilai arus pada lingkungan hidrogen lebih tinggi daripada lingkungan udara. Variabel yang mempengaruhi nilai arus pada hidrogen lebih tinggi dibandingkan lingkungan udara adalah permukaan sensor yang akan menyerap molekul-molekul hidrogen lebih banyak dibandingkan pada lingkungan udara. Molekul-molekul hidrogen yang teradsorpsi ini akan mengikat elektron bebas pada permukaan bahan semikonduktor. Pengikat elektron bebas menyebabkan lapisan deplesi pada antar muka butir kristal mengecil. Hal ini mengakibatkan arus yang mengalir pada lingkungan hidrogen akan meningkat.

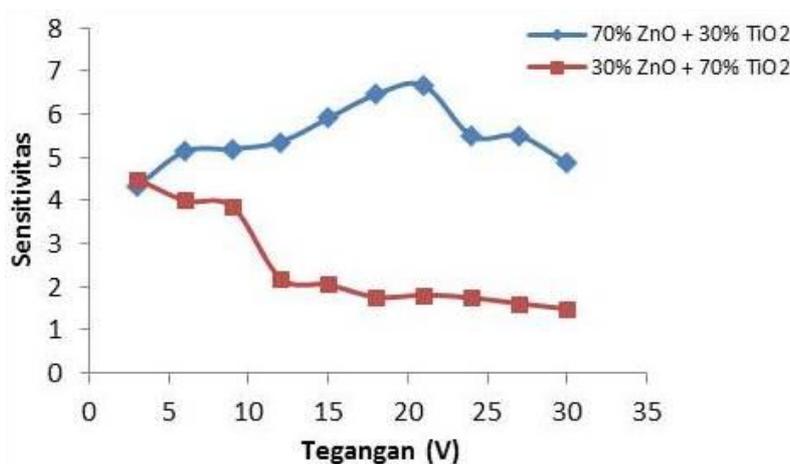
Gambar 2 menunjukkan bahwa sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> didapatkan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara adalah yang terbesar. Hal ini disebabkan karena hidrogen sangat maksimal bereaksi dengan oksida yang terdapat pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> sehingga dapat memperkecil daerah deplesi antar muka partikel yang membuat elektron mudah untuk berpindah dari satu partikel ke partikel lainnya. Pada sampel 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> didapatkan perbandingan yang rendah antara arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara. Ini disebabkan karena reaksi antara hidrogen dengan oksida menurun. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa semakin besar komposisi ZnO yang digunakan maka perbandingan arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara semakin besar.



Gambar 2 Grafik karakteristik I-V pada lingkungan udara dan hidrogen (a) 30% mol ZnO+70% mol TiO<sub>2</sub> (b)70% mol ZnO+30% mol TiO<sub>2</sub>

### 3.2 Karakteristik Sensitivitas

Sensitivitas sensor gas dapat diketahui berdasarkan grafik karakteristik I-V yang telah diperoleh dan dihitung menggunakan Persamaan 2. Perubahan nilai sensitivitas masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel ZnO-TiO<sub>2</sub> dengan persentase mol 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 6,67 pada tegangan 21 volt. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai arus yang tinggi antara lingkungan hidrogen dan lingkungan udara. Arus yang tinggi pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> disebabkan karena daerah deplesi mengecil sehingga elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi dan banyak terjadi reaksi oksida dengan hidrogen, sedangkan pada sampel 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> didapatkan sensitivitas sebesar 4,5 pada tegangan 3 volt, hal ini disebabkan karena reaksi antara hidrogen dengan oksida menurun.

**3.3 Karakteristik Konduktivitas**

Nilai konduktivitas pada lingkungan udara maupun lingkungan hidrogen dapat dihitung menggunakan Persamaan 2. Nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas pada lingkungan udara. Hal ini disebabkan oleh reaksi antara hidrogen dengan oksida pada permukaan partikel yang lebih besar pada lingkungan hidrogen dibandingkan pada lingkungan udara. Nilai konduktivitas pada lingkungan udara dan lingkungan hidrogen pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

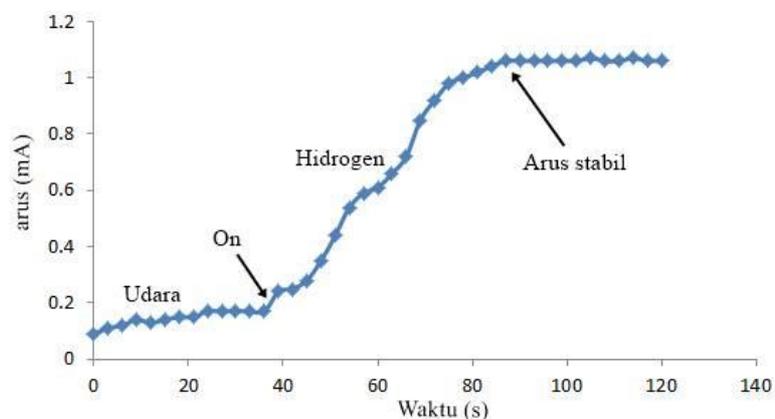
**Tabel 1** Perubahan konduktivitas pada lingkungan udara dan hidrogen

Sampel	Konduktivitas ( $10^{-3} / \Omega m$ )	
	Lingkungan Udara	Lingkungan Hidrogen
70% ZnO + 30% TiO <sub>2</sub>	0,40	2,15
30% ZnO + 70% TiO <sub>2</sub>	0,28	1,34

Sampel yang memiliki nilai konduktivitas yang tertinggi pada lingkungan udara yaitu sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> dengan nilai konduktivitasnya  $0,40 \times 10^{-3} / \Omega m$ , hal ini disebabkan karena pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> telah terjadi reaksi antara gas-gas yang terkandung di udara dengan oksida, sedangkan nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan hidrogen juga terdapat pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $2,15 \times 10^{-3} / \Omega m$ , hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi antara hidrogen dengan oksida yang dapat memperkecil daerah deplesi.

**3.4 Karakteristik Waktu Respon**

Waktu respon sebuah sensor gas sangat penting untuk diketahui, karena dengan menghitung waktu respon dapat diketahui kemampuan suatu sensor gas dalam mendeteksi gas tertentu di sekitarnya. Waktu respon diukur pada sampel yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> pada tegangan operasional 21 Volt. Grafik hasil pengukuran waktu respon dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Grafik waktu respon

Pengukuran arus untuk menentukan waktu respon dilakukan tiap 3 s di lingkungan udara hingga stabil. Kemudian, pengukuran dilanjutkan pada lingkungan gas hidrogen sampai didapatkan nilai arus yang stabil. Sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> diukur pada lingkungan udara hingga kuat arus stabil, kuat arus stabil sampai 39 s. Gas hidrogen dialirkan dan terjadi peningkatan kuat arus yang signifikan. Sampel dibiarkan hingga kuat arus stabil pada 87 s. Nilai waktu respon didapatkan pada rentang waktu ketika sampel mulai di aliri gas hidrogen sampai kuat arus menjadi stabil. Dari hasil pengukuran didapatkan waktu respon 48 s.

#### IV. KESIMPULAN

Sensor telah mampu membedakan antara kondisi di lingkungan udara dengan kondisi di lingkungan hidrogen dimana arus meningkat pada lingkungan hidrogen. Nilai sensitivitas pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> yaitu 6,67 menggunakan tegangan operasional 21 volt lebih tinggi daripada nilai sensitivitas pada sampel 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> yaitu 4,5 menggunakan tegangan operasional 3 volt pada temperatur ruang. Nilai konduktivitas di lingkungan hidrogen lebih tinggi daripada di lingkungan udara. Nilai Konduktivitas pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $2,15 \times 10^{-3}$  lebih tinggi dibandingkan pada sampel 30% mol ZnO + 70% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $1,34 \times 10^{-3}/\Omega\text{m}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon pada sampel 70% mol ZnO + 30% mol TiO<sub>2</sub> dengan lama waktu respon yaitu 48s pada temperatur ruang, menggunakan tegangan operasional 21 volt.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aygun, S. dan Cann, D., 2004, Hydrogen Sensitivity of Doped CuO/ZnO Heterocontact Sensors, *Sensors and Actuators B*, Vol 106, hal 837-842.
- Cao, Y., Pana, W., Zonga, Y dan Dianzeng, J, 2009, Preparation and Gas-Sensing Properties of Pure and Nd-doped ZnO Nanorods by Low-Heating Solid-State Chemical Reaction, *Sensors and Actuators B*, Vol 138, hal 480-484.
- Hendri, 2012, Karakterisasi TiO<sub>2</sub>(CuO) dengan metoda keadaan padat sebagai sensor gas CO<sub>2</sub>, *Skripsi*, Program studi S-1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.
- Mondal, B. Basumatari, B. Das, J. Roychaudhury, C. Saha, H. Mukherjee, N., 2014, ZnO-SnO<sub>2</sub> based composite type gas sensor for selective hydrogen sensing, *Sensors and Actuators B*, Vol. 194, hal 389– 396.
- Shaposhnik, D., Pavelko, R., Llobet, E., Gispert-Guirado, F., Vilanova, X., 2012, Hydrogen sensors on the basis of SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> systems, *Sensors and Actuators B*, Vol. 174, hal 527-534
- Wang, C.C., Akbar, S.A., dan Madau, M.J., 1998, Ceramic Based Resistive Sensor, *Journal of electroceramics*, Vol 2 No 4, hal 273-282.
- Young, Stuart A. 1991. *Apparatus and Method For Generating Hydrogen and Oxygen By Electrolytic Dissociation of Water*. United States Patent, PatentNumber 5037518.