

Karakterisasi Arus-Tegangan Sensor Gas Hidrogen dari Bahan Komposit $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$

Hudya Fitra Hasmin*, Elvaswer

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis Padang, 25163 Indonesia

*hudyafitrasahmin@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet dengan bahan komposit $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$. Pelet sensor gas hidrogen dibuat dengan komposisi yang berbeda untuk setiap sampel. Proses pembuatan sensor gas hidrogen diawali dengan pencampuran bahan, kalsinasi pada temperatur 500°C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi dan sintering pada temperatur 700°C selama 4 jam dengan menggunakan metode reaksi dalam keadaan padat. Sensor gas hidrogen diuji pada temperatur ruang dengan pengukuran karakteristik $I\text{-V}$, nilai sensitivitas, selektivitas, konduktivitas, waktu respon, dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik $I\text{-V}$ diperoleh bahwa bahan dengan komposisi 70% mol TiO_2 + 30% mol SrCO_3 memiliki sensitivitas dan selektivitas tertinggi. Nilai sensitivitas yang diperoleh yaitu 4,4 pada tegangan 24 volt, sedangkan nilai selektivitas yaitu 3,26 pada tegangan 24 volt. Nilai konduktivitas tertinggi dimiliki bahan dengan komposisi 70% mol TiO_2 + 30% mol SrCO_3 yaitu $8.44 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$ pada lingkungan hidrogen. Waktu respon bahan dengan komposisi 70% mol TiO_2 + 30% mol SrCO_3 terhadap gas hidrogen adalah 43 s dan waktu respon terhadap gas oksigen adalah 49 s pada tegangan 24 volt. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal 100% TiO_2 yaitu 149,01 nm, ukuran kristal 100% SrCO_3 yaitu 127,128 nm, dan ukuran kristal 70% TiO_2 + 30% SrCO_3 adalah 159, 315 nm. Campuran TiO_2 didoping SrCO_3 telah terbentuk senyawa baru yaitu $\text{Sr}_2(\text{TiO}_4)$.

Kata kunci: sensor, $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$, gas hidrogen, sensitivitas, waktu respon

ABSTRACT

The characterization of hydrogen gas sensor in the form of pellets made of $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$ was performed. Hydrogen gas sensor pellets made with different compositions for every sample. The preparation of hydrogen gas sensor starts with the mixing of the materials, calcination at 500°C for 4 hours, grinding, compacting, and sintering at 700°C for 4 hours used solid state reaction method. Hydrogen gas sensor was tested at room temperature by measuring the characteristic $I\text{-V}$, sensitivity, conductivity, selectivity, response time, and XRD characterization. Based on $I\text{-V}$ characteristics, the material with composition of 70% mol of TiO_2 + 30% mol of SrCO_3 shows the highest sensitivity and selectivity. The sensitivity is 4.4 at 24 volt and the selectivity is 3.26 at 24 volt. The material with composition 70% mol of TiO_2 + 30% mol of SrCO_3 also has the highest conductivity at $8.44 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$ in the hydrogen gas. The response time of material with composition 70% mol of TiO_2 + 30% mol of SrCO_3 in hydrogen gas is 43 s and 49 s for oxygen gas at 24 volt. XRD shows that the crystal size of 100% TiO_2 is 127.486 nm, the crystal size of sample 100% SrCO_3 is 127.128, and the crystal size of 70% mol of TiO_2 + 30% mol of SrCO_3 is 159.315 nm. The sample of TiO_2 doped SrCO_3 formed a new compound that is $\text{Sr}_2(\text{TiO}_4)$.

Keywords: hydrogen, gas sensor, $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$, sensitivity, response time

I. PENDAHULUAN

Gas hidrogen merupakan unsur kimia yang paling sederhana dengan satu proton dan satu elektron. Hidrogen dimanfaatkan pada berbagai bidang antara lain dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, seperti mobil dan sepeda motor. Hal tersebut disebabkan oleh sifat hidrogen yang ramah lingkungan, dimana energi yang dihasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air (Hübert dkk., 2014). Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen bersifat non-logam, bervalensi tunggal, merupakan gas diatomik, dan tidak berwarna dan tidak berbau sehingga sulit terdeteksi jika terjadi kebocoran yang mengakibatkan kebakaran (Saito, 1996). Hal ini menyebabkan keberadaan sebuah sensor gas hidrogen menjadi sangat penting untuk mendeteksi kebocoran gas hidrogen.

Sensor gas pada umumnya banyak dikembangkan menggunakan bahan semikonduktor oksida logam, seperti: TiO_2 (*Titanium Dioxide*), SnO_2 (*Tin(IV) Dioxide*), WO_3 (*Wolfram Trioksida*), ZnO (*Zinc Oxide*), dan CuO (*Copper Oxide*) untuk pengembangan pendeteksi gas H_2 (hidrogen), CO (karbon monoksida), CH_4 (metana) dan hidrokarbon lainnya (Wang dkk.,

1998). Bahan TiO₂ merupakan bahan logam oksida yang banyak digunakan dalam aplikasi gas sensor karena memiliki sifat fisis seperti stabilitas termal yang baik, titik lebur yang tinggi, permukaan yang mudah bereaksi secara kimia, dan transfer muatan yang baik (Yadav dkk., 2011).

Penelitian tentang sensor gas hidrogen pernah dilakukan oleh Aygünn dan Cann (2005) menggunakan bahan semikonduktor heterokontak CuO/ZnO yang didoping dengan bahan monovalen (Li,Na) dan isovalen (Ca, Sr, Ni) dengan metode reaksi dalam keadaan padat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan sensitivitas pada sampel CuO/ZnO didoping Sr sebesar 4,1 pada tegangan 10 volt dengan suhu 400°C dengan konsentrasi 4000 ppm H₂. Mondal dkk. (2014) juga melakukan penelitian tentang sensor gas hidrogen menggunakan bahan komposit ZnO-SnO₂. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan nilai selektivitas sensor sebesar 0,35 dan waktu respon sebesar 60 detik untuk 10000 ppm gas hidrogen pada suhu 150 °C. Riwanda dan Elvaswer (2017) juga telah melakukan penelitian sensor gas hidrogen menggunakan bahan komposit semikonduktor ZnO-TiO₂. Nilai sensitivitas tertinggi yang didapatkan pada penelitian tersebut sebesar 6,67 dengan tegangan operasional 21 volt pada suhu ruang. Kemudian waktu respon yang didapatkan sebesar 48 detik.

Pada penelitian ini akan dibuat sensor gas hidrogen dari bahan komposit TiO₂-SrCO₃. Sensitivitas sensor gas dapat ditingkatkan dengan cara mendoping bahan utama dengan logam mulia atau bahan metal oksida. Bahan logam mulia butuh biaya yang lebih mahal dan cukup sulit diperoleh dibandingkan dengan bahan metal oksida (Patil dkk., 2011). Penelitian dilakukan untuk menghasilkan sensor gas hidrogen yang dapat bekerja pada temperatur ruang, memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi, dan waktu respon sensor yang cepat sehingga meningkat dari penelitian-penelitian sebelumnya.

II. METODE

2.1 Persiapan dan Pembuatan Pelet TiO₂-SrCO₃

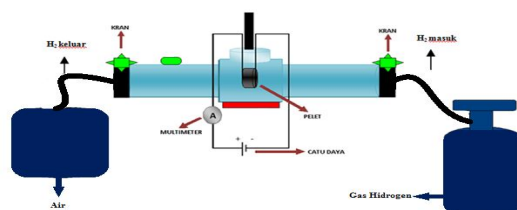
Pada Penelitian ini telah dibuat sampel dengan perbandingan persentase mol TiO₂:SrCO₃ adalah 100:0, 0:100, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, dan 30:70 dimana massa masing-masing sampel adalah 0,5 gram. Reaksi kimia yang terjadi untuk mengetahui persentase massa dari masing-masing sampel pada Penelitian ini adalah:



Sampel digerus selama 10 menit hingga diperkirakan sudah homogen, kemudian dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi, bahan digerus kembali selama 10 menit agar butir-butir bahan tidak menggumpal. Kompaksi dilakukan pada bahan sehingga berbentuk pelet. Setelah itu, pelet disinter pada suhu 700°C selama 4 jam.

2.2 Karakterisasi Sensor Gas Hidrogen

Pelet yang telah disinter diuji seperti skema rangkaian pada Gambar 1. Skema tersebut 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, dan untuk bias mundur polaritasnya dibalik. Amperemeter dihubungkan secara seri dengan sumber tegangan dan pelet. Pengukuran bias maju dan bias mundur diberikan variasi tegangan dari -30 V sampai 30 V dengan interval 3 V.



Gambar 1 Skema rangkaian alat pengujian sensor gas hidrogen (Sumber: Basthoh dkk., 2013)

Karakteristik I - V diukur untuk menentukan sensitivitas, selektivitas, dan konduktivitas sensor. Nilai sensitivitas dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2:

$$S = \frac{I_{\text{hidrogen}}}{I_{\text{udara}}} \quad (2)$$

Nilai selektivitas dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3 :

$$\text{Selek} = \frac{I_{\text{hidrogen}}}{I_{\text{oksigen}}} \quad (3)$$

Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat dihitung menggunakan Persamaan 4:

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (4)$$

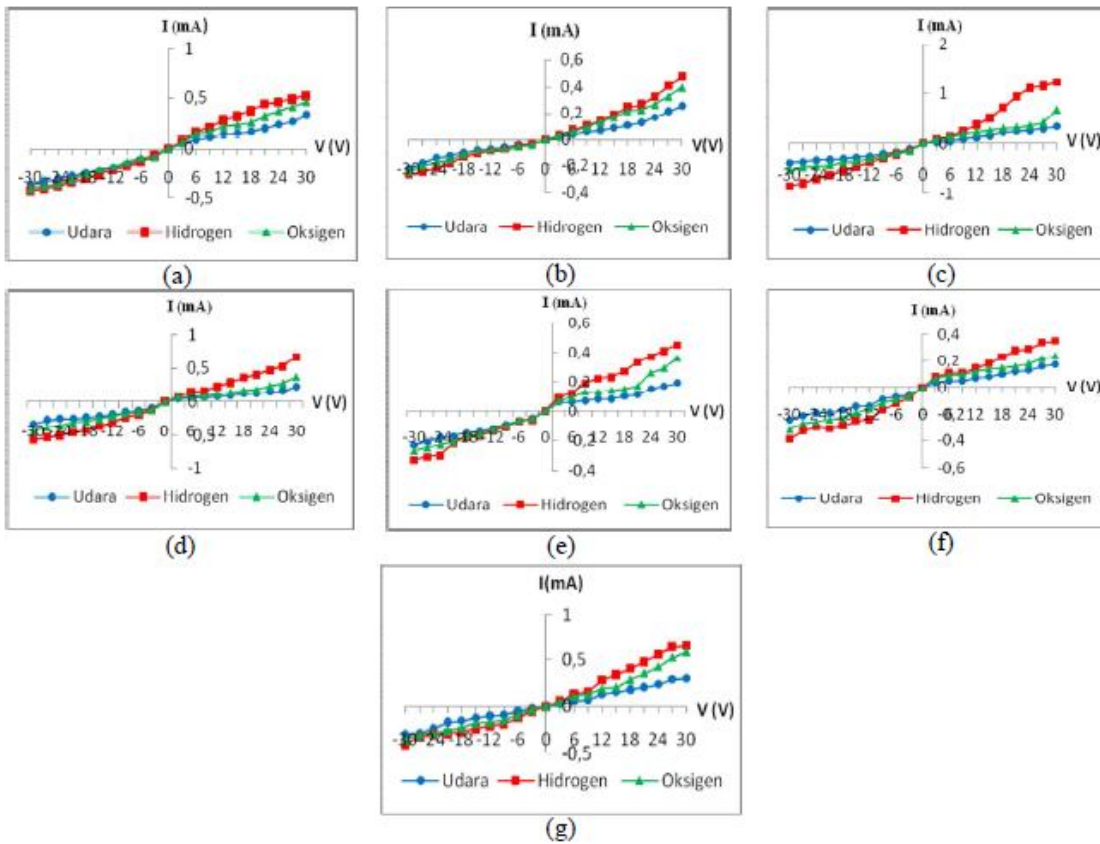
XRD digunakan untuk melihat ukuran kristal dari sampel. Ukuran kristal dapat dihitung menggunakan Persamaan 5:

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad (5)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi I - V pada Lingkungan Hidrogen, Udara, dan Oksigen

Karakteristik I - V masing-masing sampel pada lingkungan hidrogen, udara, maupun oksigen dapat ditampilkan sebagai grafik arus-tegangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik karakterisasi I - V pada lingkungan hidrogen, udara, dan oksigen untuk (a)100% mol TiO_2 , (b)100% mol SrCO_3 , (c)70% mol TiO_2 +30% mol SrCO_3 , (d)60% mol TiO_2 +40% SrCO_3 , (e) 50% mol TiO_2 +50% SrCO_3 , (f) 40% mol TiO_2 +60% SrCO_3 , (g) 30% mol TiO_2 +70% SrCO_3

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

Gambar 2(a) dan (b) memperlihatkan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus pada lingkungan udara dan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus pada lingkungan oksigen kecil. Hal ini disebabkan karena sebelum dijadikan komposit bahan semikonduktor 100% TiO₂ dan 100% SrCO₃ menurut teori mempunyai energi gap yang besar. Reaksi hidrogen dengan oksida yang terjadi pada permukaan sampel ini sangat sedikit, sehingga dapat memperbesar daerah deplesi antar muka partikel yang menyebabkan elektron sulit untuk berpindah dari satu partikel ke partikel lain.

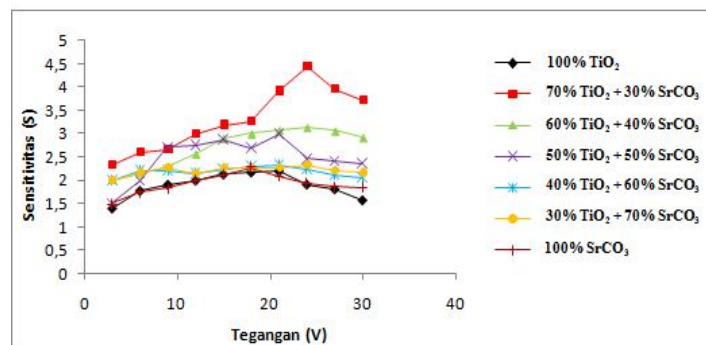
Gambar 2(c) menunjukkan bahwa sampel 70% mol TiO₂ + 30% mol SrCO₃ mempunyai perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus pada lingkungan udara dan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus pada lingkungan oksigen yang tinggi. Perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus pada lingkungan udara pada sampel 70% mol TiO₂ + 30% mol SrCO₃ adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Hal ini disebabkan karena arus pada lingkungan hidrogen optimum bereaksi dengan oksida yang terdapat pada sampel tersebut sehingga dapat memperkecil daerah deplesi antar muka butir partikel akibatnya elektron mudah untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

Gambar 4.1(d) dan (e) memperlihatkan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap lingkungan udara dan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap lingkungan oksigen lebih besar daripada arus TiO₂ dan SrCO₃ sebelum dijadikan komposit, namun nilainya mengalami penurunan dari sampel 70% mol TiO₂ + 30% mol SrCO₃. Hal tersebut disebabkan karena penambahan doping SrCO₃ terhadap TiO₂ dapat menurunkan nilai arus, terutama di lingkungan hidrogen.

Gambar 4.1(f) dan (g) memperlihatkan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus di lingkungan udara dan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen terhadap arus di lingkungan oksigen tidak jauh berbeda dibandingkan sampel sebelum dijadikan komposit, hal ini disebabkan karena reaksi antara hidrogen dan permukaan oksida pada sampel menurun, sehingga interaksi elektron di dalam bahan sedikit.

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.

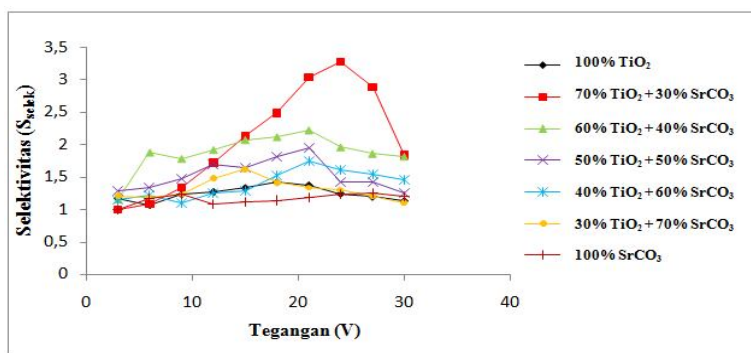


Gambar 3 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui nilai sensitivitas tertinggi didapatkan pada bahan komposit semikonduktor $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$ dengan persentase mol 70% TiO_2 +30% SrCO_3 yaitu 4,4 pada tegangan 24 volt pada bias maju, hal ini disebabkan oleh perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan hidrogen dari lingkungan udara. Arus yang tinggi disebabkan karena pada lingkungan hidrogen terjadi pengecilan daerah deplesi yang menyebabkan elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Untuk sensitivitas yang rendah terdapat pada bahan komposit semikonduktor 40% mol TiO_2 +60% mol SrCO_3 , 100% TiO_2 , dan 100% SrCO_3 . Hal ini disebabkan karena reaksi antara hidrogen dan oksida menurun, sedangkan untuk sampel TiO_2 dan SrCO_3 tanpa doping menurut teori memiliki energi gap yang besar dan arus yang dihasilkan di lingkungan hidrogen kecil.

3.3 Karakteristik Selektivitas

Selektivitas sensor gas dapat diketahui berdasarkan grafik karakteristik I - V yang telah diperoleh dan dihitung menggunakan Persamaan 3. Perubahan nilai selektivitas masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik perubahan selektivitas terhadap tegangan

Selektivitas tertinggi didapatkan pada sampel komposit semikonduktor $\text{TiO}_2\text{-SrCO}_3$ dengan persentase mol 70% TiO_2 + 30% SrCO_3 yaitu 3,26 pada tegangan 24 volt pada bias maju, hal ini disebabkan oleh perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan hidrogen dari lingkungan oksigen. Arus yang tinggi disebabkan karena material sensor semikonduktor lebih banyak menyerap molekul-molekul hidrogen dibandingkan dengan molekul-molekul pada lingkungan oksigen, sehingga pada lingkungan hidrogen terjadi pengecilan daerah deplesi yang menyebabkan elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi.

3.4 Karakteristik Konduktivitas

Nilai konduktivitas pada lingkungan udara maupun lingkungan hidrogen dapat dihitung menggunakan Persamaan 4. 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. Perubahan nilai konduktivitas sebelum dan sesudah dialiri gas hidrogen pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

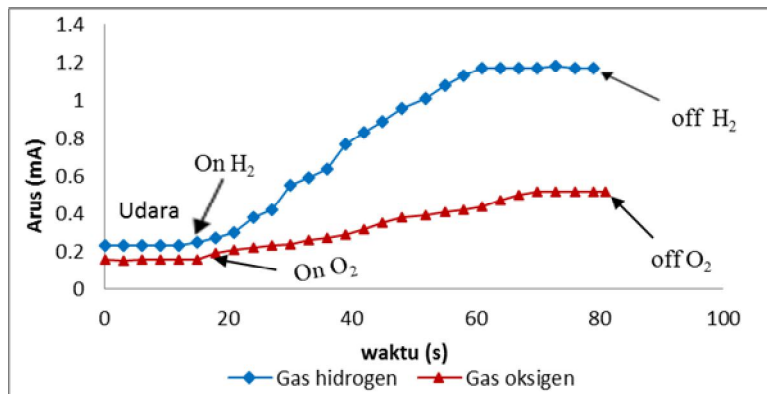
Tabel 1 Konduktivitas sampel di lingkungan udara dan hidrogen

Sampel	Konduktivitas ($10^{-4} \Omega.m$)	
	Lingkungan udara	Lingkungan hidrogen
100% mol TiO ₂	1,82	3,50
100% mol SrCO ₃	1,29	2,51
70 % mol TiO ₂ +30% mol SrCO ₃	1,90	8,44
60 % mol TiO ₂ +40% mol SrCO ₃	1,14	3,57
50 % mol TiO ₂ +50% mol SrCO ₃	1,14	2,81
40 % mol TiO ₂ +60% mol SrCO ₃	0,99	2,21
30 % mol TiO ₂ +70% mol SrCO ₃	1,82	4,53

Sampel yang memiliki nilai konduktivitas yang tertinggi pada lingkungan hidrogen dan udara yaitu sampel 70% TiO₂ + 30% SrCO₃. Nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan hidrogen yaitu $8.44 \times 10^{-4} \Omega.m$. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi antar hidrogen dengan oksida yang dapat memperkecil daerah deplesi yang mengakibatkan elektron dengan mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

3.5 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 disekitarnya. Waktu respon diukur pada sampel yang memiliki sensitivitas tertinggi yaitu pada sampel komposit 70% TiO₂ + 30% SrCO₃ pada tegangan 24 V. Grafik hasil pengukuran waktu respon dapat dilihat pada Gambar 5.

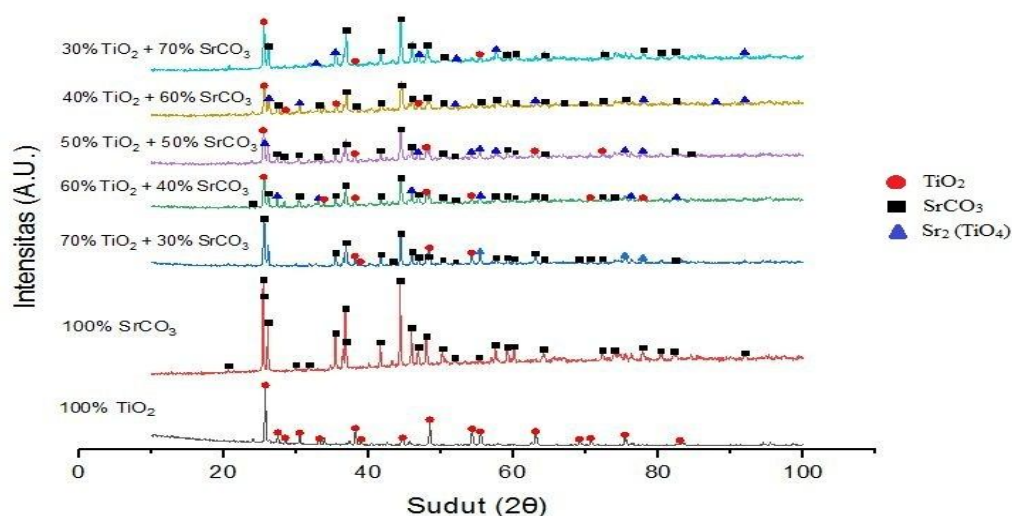


Gambar 5 Grafik waktu respon

Pada pengukuran waktu respon gas hidrogen, arus stabil pada lingkungan udara dari detik ke-0 s hingga 12 s. Kemudian saat gas hidrogen dialirkan terjadi peningkatan arus secara bertahap sampai detik ke-58 s. Waktu respon terhadap gas hidrogen yang diperoleh yaitu 43 detik pada suhu kamar. Pada Penelitian ini juga dihitung waktu respon sensor terhadap gas oksigen. Arus stabil pada lingkungan udara dari detik ke-0 s hingga ke-15 s. Kemudian saat gas oksigen dialirkan terjadi peningkatan arus secara bertahap sampai detik ke-64 s. Waktu respon terhadap gas oksigen yang diperoleh pada sampel yaitu 49 detik pada suhu kamar.

3.6 Hasil Karakterisasi Sampel Menggunakan XRD

Karakterisasi XRD telah dilakukan pada ketujuh sampel dalam bentuk pelet. Pola difraksi sinar-X ketujuh sampel ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola difraksi sinar-X pada ketujuh sampel

Hasil XRD menunjukkan pada sampel komposit TiO_2 dan SrCO_3 terdapat puncak-puncak baru yaitu $\text{Sr}_2(\text{TiO}_4)$. Munculnya puncak baru ini berarti terbentuknya senyawa yang baru yaitu $\text{Sr}_2(\text{TiO}_4)$. Gabungan dari bahan TiO_2 dan SrCO_3 ini mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal 100% TiO_2 yaitu 149,01 nm, ukuran kristal 100% SrCO_3 yaitu 159,25 nm, sedangkan ukuran kristal sampel 70% TiO_2 + 30% SrCO_3 adalah 159,315 nm. Ukuran Kristal memperlihatkan bahwa sampel 70% TiO_2 + 30% SrCO_3 mempunyai ukuran kristal yang lebih besar dibandingkan sampel 100% TiO_2 dan 100% SrCO_3 . Hal tersebut disebabkan karena pada sampel 70% TiO_2 + 30% SrCO_3 dua kristal membentuk antar muka, kemudian bergabung menjadi satu sehingga ukuran kristalnya menjadi lebih besar, atau terjadi pertumbuhan kristal.

IV. KESIMPULAN

Bedasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Sensor mampu membedakan kondisi dilingkungan hidrogen dengan lingkungan udara dan oksigen. Nilai sensitivitas dan selektivitas tertinggi diperoleh pada sampel 70% TiO_2 +30% SrCO_3 sebesar 4,4 dan 3,26 dengan tegangan operasional 24 volt pada suhu kamar. Konduktivitas lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan lingkungan udara. Konduktivitas tertinggi di lingkungan hidrogen adalah $8,44 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$ dan lingkungan udara adalah $1,90 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$. Waktu respon sampel 70% TiO_2 +30% SrCO_3 terhadap gas hidrogen adalah 43 detik dan 49 detik terhadap gas oksigen pada tegangan 24 V. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya senyawa baru $\text{Sr}_2(\text{TiO}_4)$. Ukuran kristal 100% TiO_2 yaitu 149,01 nm, ukuran kristal 100% SrCO_3 yaitu 159,25 nm, dan ukuran kristal sampel 70% TiO_2 + 30% SrCO_3 adalah 159,315 nm

DAFTAR PUSTAKA

- Aygun, S. dan Cann, D., "Hydrogen sensitivity of doped CuO/ZnO heterocontact sensors", *Sensors and Actuators B, Elsevier*, 106, 837-842, (2005).
- Basthoh, E., Elvaswer, dan Harmadi, "Karakterisasi ZnO Didoping TiO_2 untuk Detektor LPG", *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, 5, 11-15 (2013).
- Hübert, T., Boon-Breit, L., Palmiseno, V., dan Bader, M.A., "Developments In Gas Sensor Technology For Hydrogen Safety", *International Journal of Hydrogen Energy*, 1-10, (2014).
- Mondal, B., Basumatari, B., Das, J., Roychaudhury, C., Saha, H., Mukherjee, N., "ZnO-SnO₂ based Composite Type Gas Sensor for Selective Hydrogensensing", *Sensors and Actuators B*, 194, 389-396, (2014).
- Patil, A., Dighavkar, C., dan Borse, R., "Al Doped ZnO Thick Films as CO₂ Gas Sensors", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 13, 1331-1337, (2011).

- Riwanda, R. dan Elvaswer, “Karakterisasi Arus-Tegangan Komposit dari Bahan Semikonduktor ZnO-TiO₂ Sebagai Sensor Gas Hidrogen”, *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 6, 211-216, (2017).
- Saito, T., *Inorganic Chemistry* (Iwanami Shoten, Tokyo, 1996).
- Wang, C.C., Akbar, S.A., dan Madou, M.J., “Ceramic Based Resistive Sensor”, *Journal of Electroceramics*, 2, 273-282, (1998).
- Yadav, B.C., Yadav, A., Shukla, T., dan Singh, S., “Solid-state Titania based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature”, *Bulletin of Material Science*, 34, 1639-1644, (2011).