

## Karakterisasi Arus-Tegangan Sensor Gas Hidrogen Dari Bahan Semikonduktor SnO<sub>2</sub> Didoping dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Ingka Amelia\*, Elvaswer

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas  
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25631, Indonesia  
\*ingka.upay@gmail.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet dari bahan semikonduktor SnO<sub>2</sub> didoping dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Pelet sensor gas hidrogen dibuat dengan variasi konsentrasi doping. Proses pembuatan sensor gas hidrogen diawali dengan pencampuran bahan dengan menggunakan metode reaksi dalam keadaan padat. Sensor gas diuji pada temperatur ruang dengan melihat karakteristik *I-V*, sensitivitas, selektivitas, konduktivitas, waktu respon dan kristalinitas sampel. Karakteristik *I-V* menunjukkan bahwa sampel dengan 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu 4,83 dan nilai selektivitas 2,92 pada tegangan 9 Volt. Konduktivitas tertinggi dimiliki sampel dengan 94% mol SnO<sub>2</sub> + 6% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yaitu  $23,11 \times 10^{-4} / \Omega\text{m}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pada tegangan 9 Volt untuk gas hidrogen adalah 63 detik dan untuk gas oksigen adalah 69 detik. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal SnO<sub>2</sub> yang didoping dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> lebih kecil dibandingkan dengan bahan SnO<sub>2</sub> tanpa doping.

**Kata kunci:** konduktivitas, selektivitas, sensitivitas, sensor gas hidrogen, waktu respon.

### ABSTRACT

*Characterization of pellet-shaped hydrogen gas sensor made of SnO<sub>2</sub>-doped Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> semiconductor has been done. Hydrogen gas sensor pellets were produced by varying doping concentration. The hydrogen gas sensors were produced by mixing the materials SnO<sub>2</sub>-doped Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> using a reaction method in solid state. Hydrogen gas sensors were examined at room temperature by measuring I-V characteristic, sensitivity, selectivity, conductivity, response time and sample crystallinity. I-V characteristic shows that the sample of 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> has the highest sensitivity is 4.83 and selectivity of 2.92 at voltage of 9 V. The highest conductivity is shown by sample of 94% mol SnO<sub>2</sub> + 6% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is  $23.11 \times 10^{-4} / \Omega\text{m}$  at the hydrogen. The response time of sample of 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> at voltage 9 V for hydrogen gas is 63 s and for O<sub>2</sub> gas is 69 s. The XRD result shows that the size of SnO<sub>2</sub>-doped Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is smaller than of SnO<sub>2</sub> without doping.*

**Keywords:** conductivity, selectivity, sensitivity, hydrogen gas sensor, response time.

## I. PENDAHULUAN

Gas hidrogen merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek dalam industri otomotif, misalnya digunakan sebagai bahan bakar. Hidrogen merupakan bahan bakar ramah lingkungan, karena hanya menghasilkan air sebagai zat buangan selama berlangsungnya proses. Selain itu, hidrogen juga banyak dimanfaatkan dalam produksi metanol, katalis *hydrocracking* dan sulfurasi hidrogen. Hidrogen yang memiliki kadar di atas 4% jika bercampur dengan oksigen mudah memicu kebakaran dan ledakan. Artinya, pada suhu kamar sekalipun ledakan gas hidrogen tetap dapat terjadi. Resiko kebocoran gas hidrogen dapat diminimalisir salah satunya yaitu dengan penggunaan sensor.

SnO<sub>2</sub> sangat potensial sebagai bahan dasar sensor gas, karena SnO<sub>2</sub> mampu merespon sejumlah gas dengan baik, memiliki aplikasi yang luas, harga yang murah dan hanya membutuhkan piranti elektronik sederhana untuk implementasi pengindraannya (Suharni dan Sayono, 2009). Bahan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> merupakan bahan yang akan digunakan sebagai bahan pendoping SnO<sub>2</sub>. Bahan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> memiliki beberapa kelebihan diantaranya dapat menaikkan kristalinitas material, mampu merespon sejumlah gas dengan baik, harga terjangkau, dan dapat menurunkan celah pita energi (Hui dkk., 2004)

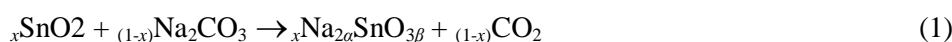
Penelitian tentang sensor gas hidrogen sebelumnya telah dilakukan oleh Mondal dkk. (2014) dengan menggunakan bahan komposit ZnO-SnO<sub>2</sub>. Hasil yang didapat yaitu nilai selektivitas sebesar 0,35 dengan gas CO (Karbon Monoksida), waktu respon 60 sekon untuk 1000 ppm gas hidrogen pada suhu 150 °C. Aygun dan Cann (2004) juga telah melakukan

karakterisasi tentang gas hidrogen dari bahan semikonduktor heterokontak CuO/ZnO. Hasilnya menunjukkan bahan sampel 2,5% mol Na yang didoping dengan CuO/ZnO memiliki nilai sensitivitas 4,4 untuk 4000 ppm gas hidrogen pada suhu 400 °C. Syafnur (2017) juga telah melakukan penelitian menggunakan bahan CuO didoping dengan ZnO, nilai sensitivitas tertinggi didapat pada sampel 92% mol CuO didoping 8% mol ZnO yaitu 4,59 pada tegangan 21 volt dengan waktu respon 45 sekon pada temperatur ruang. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas sensor, memperendah waktu respond an menurunkan suhu operasional ke suhu kamar.

## II. METODE

### 2.1 Persiapan Pembuatan Pelet

Bahan SnO<sub>2</sub> didoping Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> disiapkan dengan persentase doping yaitu 0% mol, 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol dan 10% mol dengan total massa 0,7 gram. Komposisi SnO<sub>2</sub> dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dihitung berdasarkan reaksi kimia seperti Persamaan 1.

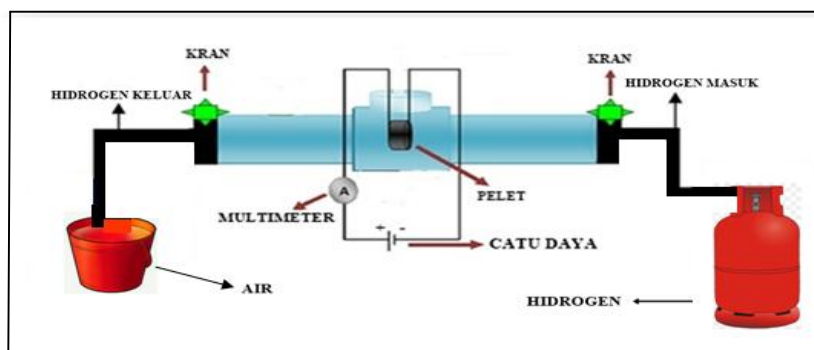


dengan  $x$  adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol, sedangkan  $\alpha = \frac{(2-2x)}{x}$  dan  $\beta = \frac{(1+x)}{3x}$ .

Setelah komposisi massa sampel disiapkan, bahan kemudian dicampur, digerus, dan kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C. Bahan digerus kembali setelah dikalsinasi agar butir-butir bahan yang menggumpal menjadi lebih halus. Lalu bahan tersebut dikompaksi sehingga berbentuk pelet. Pelet kemudian disintering pada suhu 700 °C selama 4 jam.

### 2.2 Pengukuran nilai $I-V$

Pengukuran nilai  $I-V$  dilakukan dengan salah satu bagian elektroda sampel dihubungkan dengan kutub positif sedangkan yang lainnya dihubungkan dengan kutub negatif (bias maju) dan untuk bias mundur polaritasnya dibalik. Antara sampel dan tegangan dihubungkan ke multimeter, sehingga arus ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) untuk sampel dapat diukur. Pengukuran karakteristik  $I-V$  setiap sampel dilakukan dengan menyusun alat seperti Gambar 1. Temperatur yang digunakan adalah temperatur ruang, pengukuran lebih dulu dilakukan pada lingkungan udara, sampel dirangkai pada bias maju dan kemudian dilanjutkan pada bias mundur. Tegangan divariasikan dari -30 Volt sampai dengan 30 Volt dengan interval kenaikan 3 Volt.



Gambar 1. Skema rangkaian alat pengujian sensor hidrogen

Pengukuran karakteristik  $I-V$  akan menentukan nilai sensitivitas sensor, selektivitas sensor dan konduktivitas sensor. Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu zat. Nilai sensitivitas dapat ditentukan dengan Persamaan 2.

$$S = \frac{I_{H_2}}{I_{udara}} \quad (2)$$

Selektivitas merupakan ukuran sejauh mana sensor memiliki kemampuan menyeleksi gas yang ingin dideteksinya. Nilai selektivitas dihitung dengan Persamaan 3.

$$S_{elec} = \frac{I_{H_2}}{I_{O_2}} \tag{3}$$

Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dari Persamaan 4.

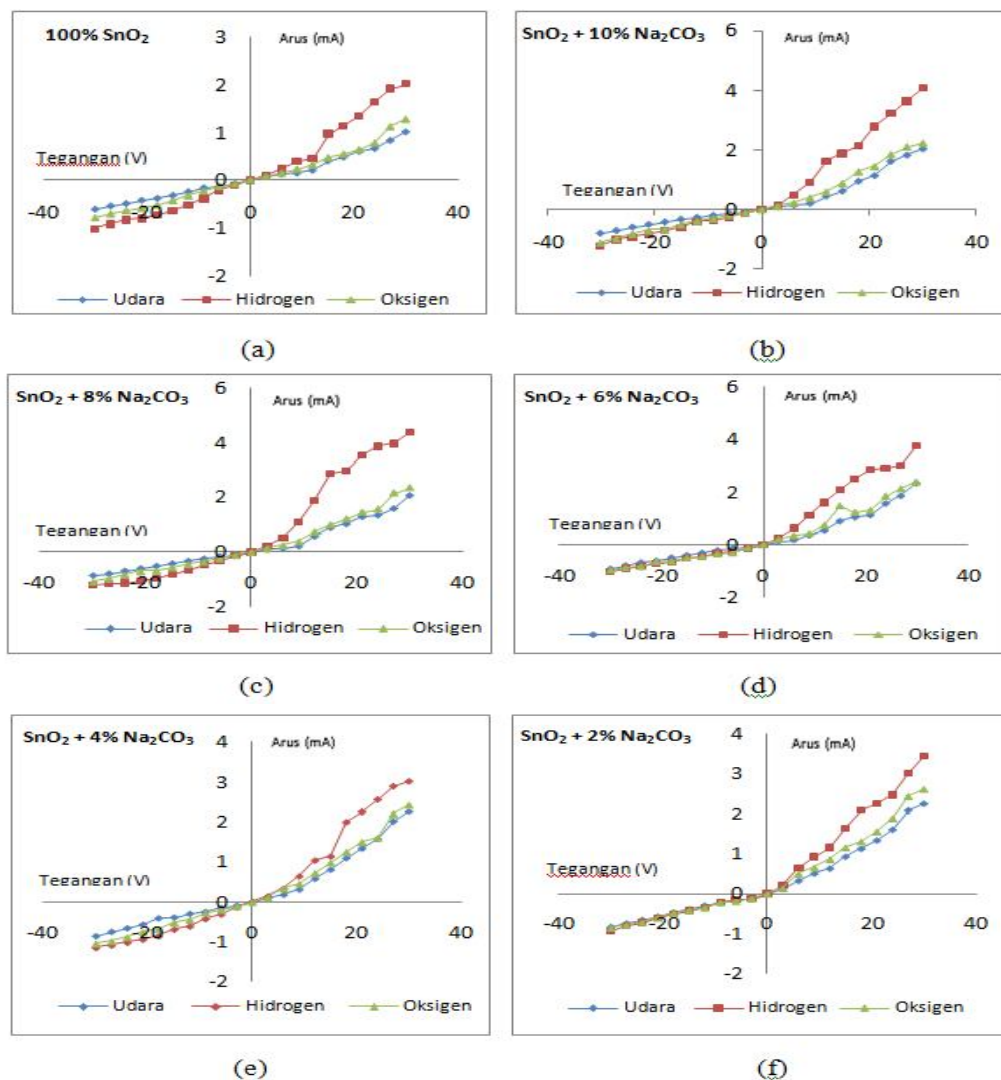
$$\sigma = \frac{l}{RA} \tag{4}$$

Waktu respon untuk melihat lama waktu yang dibutuhkan bagi sampel untuk mengalami perubahan arus dari lingkungan udara ke lingkungan hidrogen dan karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Karakterisasi I-V

Grafik I-V menunjukkan nilai arus pada lingkungan hidrogen lebih tinggi daripada lingkungan udara dan lingkungan oksigen, variabel yang mempengaruhi adalah oksida menyerap molekul-molekul hidrogen lebih banyak dibandingkan pada oksigen dan udara. Molekul-molekul yang teradsorpsi akan mengikat elektron bebas pada permukaan bahan semikonduktor sehingga menyebabkan daerah deplesi mengecil dan arus yang mengalir pada lingkungan hidrogen meningkat.

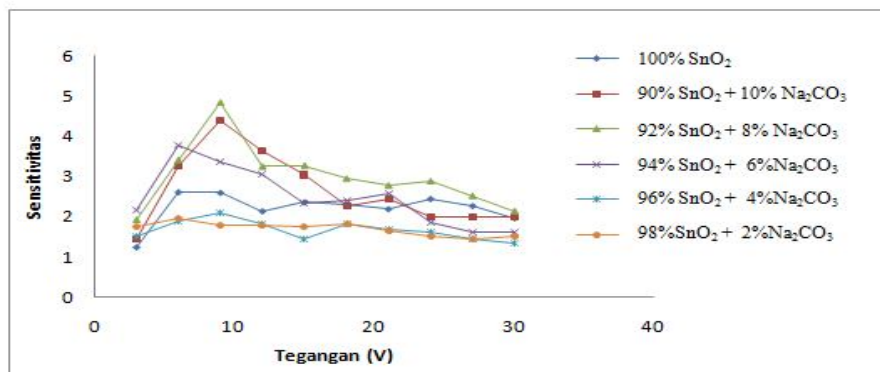


Gambar 2. Grafik I-V pada lingkungan udara, oksigen dan hidrogen

Pada teori doping menyatakan bahwa doping dapat menurunkan energi gap. Maka SnO<sub>2</sub> yang didoping 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> merupakan doping yang paling optimum menghasilkan energi gap yang kecil sehingga menghasilkan sensor dengan sensitivitas tertinggi.

### 3.2 Karakteristik Sensitivitas

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> didoping dengan 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yaitu sebesar 4,83 pada tegangan operasional 9 Volt. Hal ini disebabkan karena doping 8% mol terhadap SnO<sub>2</sub> terjadi reaksi antara hidrogen dengan oksida sehingga memperkecil daerah deplesi antar muka partikel yang menyebabkan peningkatan arus yang paling tinggi.

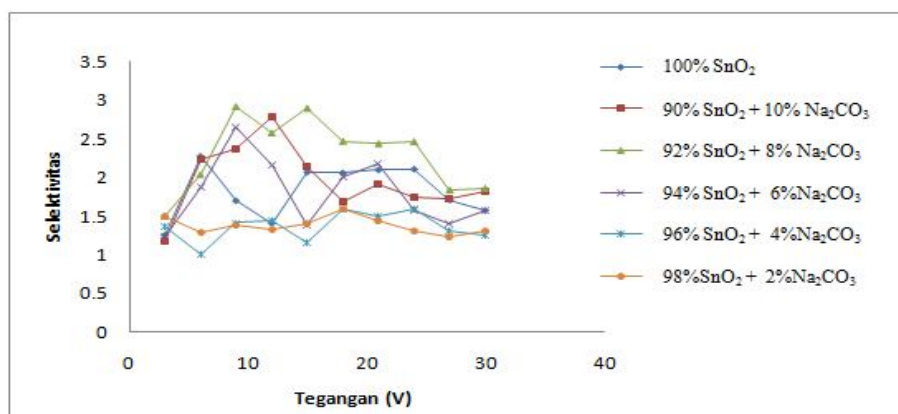


Gambar 3. Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

SnO<sub>2</sub> sebelum didoping mempunyai sensitivitas 2,44 pada tegangan operasional 24 Volt. Setelah SnO<sub>2</sub> didoping dengan 2% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sensitivitas meningkat menjadi 2,6 pada tegangan operasional 6 Volt. Kenaikan ini disebabkan oleh pengaruh doping dan reaksi antara hidrogen dan oksida.

### 3.3 Karakteristik Selektivitas

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai selektivitas tertinggi terdapat pada sampel SnO<sub>2</sub> didoping 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yaitu sebesar 2,92 pada tegangan operasional 9 Volt pada bias maju, hal ini disebabkan karena nilai arus yang tinggi pada lingkungan hidrogen daripada lingkungan oksigen. Arus yang tinggi pada lingkungan hidrogen karena material semikonduktor lebih banyak menyerap molekul-molekul hidrogen daripada oksigen.



Gambar 4. Grafik perubahan selektivitas terhadap tegangan

### 3.4 Karakteristik Konduktivitas

Nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas pada lingkungan udara dan lingkungan oksigen. Nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan udara yaitu sampel SnO<sub>2</sub> didoping 10% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan nilai konduktivitasnya  $10,3 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$ , nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan oksigen yaitu sampel SnO<sub>2</sub> didoping 2% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan nilai konduktivitasnya  $13,38 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$  dan nilai konduktivitas

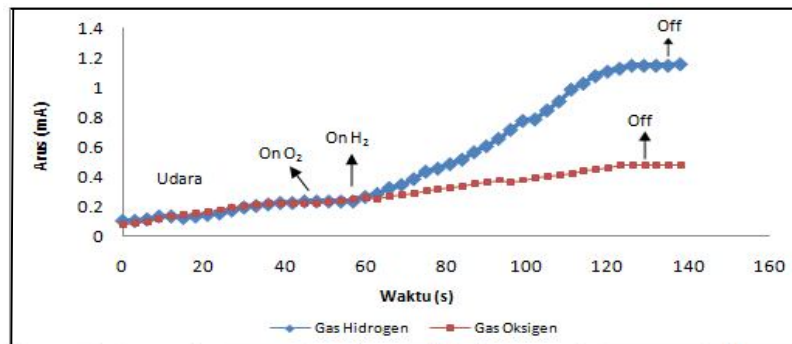
tertinggi pada lingkungan hidrogen terdapat pada sampel SnO<sub>2</sub> didoping 6% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yaitu 23,11 x 10<sup>-4</sup>/Ωm, hal ini terjadi karena reaksi antara hidrogen dengan oksida dan dipengaruhi oleh penambahan doping yang dapat memperkecil daerah deplesi. Perubahan nilai konduktivitas sebelum dan sesudah dialiri gas hidrogen pada masing-masing sampel terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perubahan konduktivitas pada lingkungan udara, oksigen dan hidrogen.

Sampel	Konduktivitas (10 <sup>-4</sup> / Ωm)		
	Udara	Oksigen	Hidrogen
SnO <sub>2</sub>	3,04	4.66	7,90
SnO <sub>2</sub> + 2% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4,26	13.38	18,65
SnO <sub>2</sub> + 4% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4,66	4.41	22,50
SnO <sub>2</sub> + 6% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6,89	8.72	23,11
SnO <sub>2</sub> + 8% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6,29	7.70	13,18
SnO <sub>2</sub> + 10% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10,3	7.91	18,65

### 3.5 Karakteristik Waktu Respon

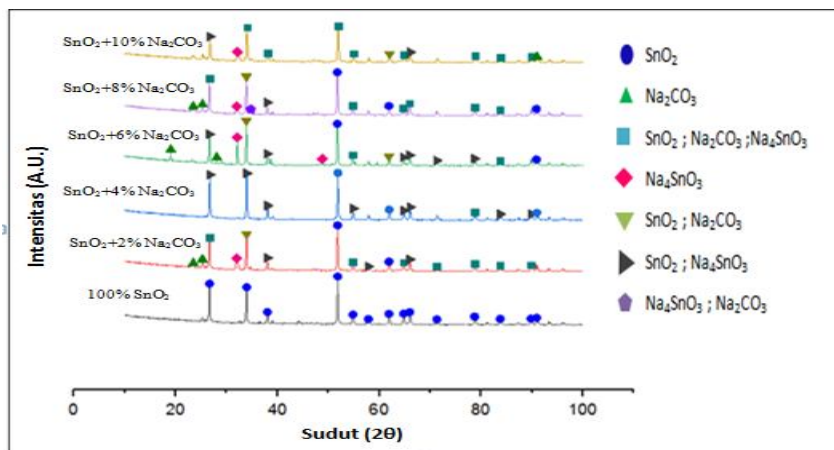
Waktu respon sensor pada gas hidrogen dan gas oksigen diukur pada sampel yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu sampel SnO<sub>2</sub> didoping 8% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pada tegangan 9 Volt. Hasil pengukuran waktu respon dapat dilihat pada Gambar 5. Pengukuran waktu respon dilakukan dalam selang waktu 3 detik di lingkungan udara hingga stabil, dilanjutkan dengan mengalirkan gas hidrogen sampai arus yang didapat stabil. Arus stabil sampai detik ke-57 kemudian gas hidrogen dialirkan terjadi peningkatan arus secara signifikan hingga detik ke-123, waktu respon yang diperoleh yaitu 47 detik. Waktu respon sensor terhadap gas oksigen sama seperti pengukuran waktu respon pada gas hidrogen. Arus stabil hingga detik ke-48, kemudian saat gas oksigen dialirkan terjadi peningkatan arus secara bertahap sampai detik ke-120, waktu respon yang diperoleh yaitu 55 detik pada suhu kamar.



**Gambar 5.** Grafik pengukuran waktu respon

### 3.6 Karakteristik XRD

Hasil XRD menunjukkan munculnya puncak baru berarti terbentuknya senyawa baru yaitu Na<sub>4</sub>SnO<sub>3</sub>. Penambahan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal dihitung menggunakan Persamaan Scherrer, ukuran kristal SnO<sub>2</sub> tanpa doping yaitu 141,6 nm. Sedangkan ukuran kristal yang didoping dengan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mengalami penyusutan ukuran kristal, hal ini disebabkan karena ketika kedua bahan digabung, terjadi pertumbuhan kristal yang membuat kristal menjadi lebih kecil. Sistem kristal SnO<sub>2</sub> adalah tetragonal, sedangkan sistem kristal Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan Na<sub>4</sub>SnO<sub>3</sub> adalah monoklinik.



Gambar 6. Pola difraksi sinar-X

#### IV. KESIMPULAN

Sensor mampu membedakan kondisi lingkungan hidrogen, udara dan oksigen dengan meningkatnya arus pada lingkungan hidrogen. Nilai sensitivitas dan selektivitas tertinggi diperoleh pada sampel 92% mol  $\text{SnO}_2$  + 8% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan nilai sensitivitas sebesar 4,83 dan nilai selektivitas sebesar 2,92 pada tegangan operasional 9 Volt. Konduktivitas di lingkungan hidrogen yaitu  $23,11 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$ , konduktivitas di lingkungan udara yaitu  $10,3 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$  dan konduktivitas di lingkungan oksigen adalah  $13,38 \times 10^{-4}/\Omega\text{m}$ . Waktu respon sampel 92% mol  $\text{SnO}_2$  + 8% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada gas hidrogen adalah 47 detik dan pada gas oksigen adalah 55 detik dengan tegangan operasional 9 Volt. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya senyawa baru yaitu  $\text{Na}_4\text{SnO}_3$  dengan sistem kristal monoklinik sama dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan sistem kristal  $\text{SnO}_2$  yaitu tetragonal. Ukuran kristal  $\text{SnO}_2$  didoping dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{SnO}_2$  tanpa doping.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aygun, S. dan Cann, D., 2004, Hydrogen Sensitivity of Doped CuO/ZnO Heterocontact Sensors, *Sensors and Actuators B*, hal.837-842.
- Hui, L.H., Xia, H.Y., Min, L.Z., Hua, Y.Y. dan Yuan, Z.S., 2014, *Journal Central University*, Vol. 21, hal. 3449-3455.
- Mondal, B., Basumatari, B., Das, J., Roychaudhury, C., Saha, H. dan 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.
- Suharni, dan Sayono, 2009, Pengaruh Doping Indium terhadap Sensitivitas Sensor Gas dari Lapisan Tipis SnO<sub>2</sub>, hal. 33-39.
- Syafnur, Z., 2017, Karakteristik Arus-Tegangan Semikonduktor *Copper Oxide* Didoping *Zinc Oxide* sebagai Sensor Gas Hidrogen, *Skripsi*, Fakultas MIPA, Universitas Andalas, Padang.