

## Karakteristik Sensor Gas Hidrogen dari Bahan Semikonduktor $\text{TiO}_2$ (*Titanium Dioxide*) Didoping $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (*Sodium Carbonat*)

Sri Ramadhani\*, Elvaswer

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

\*sriamadhani23@gmail.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet dari bahan semikonduktor  $\text{TiO}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3$ . Pelet sensor gas hidrogen dibuat sebanyak enam sampel dengan variasi komposisi yang berbeda. Tahap pembuatan sensor gas hidrogen terdiri atas pencampuran bahan, kalsinasi pada temperatur 500 °C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi, dan sintering pada temperatur 700 °C selama 4 jam. Sensor gas hidrogen diuji pada temperatur ruang dengan melihat karakteristik *I-V*, nilai sensitivitas, nilai konduktivitas, waktu respon, dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik *I-V*, sampel dengan variasi mol 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  merupakan sampel dengan hasil terbaik karena memiliki nilai sensitivitas tertinggi. Sensitivitas yang didapat yaitu 3,18 pada tegangan 6 volt. Nilai konduktivitas tertinggi dimiliki sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yaitu  $1,30 \times 10^{-3}/\Omega\text{m}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada tegangan 6 volt adalah 57 sekon. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  lebih besar dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  murni.

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

### ABSTRACT

*The characterization of hydrogen gas sensor in the form of pellet made of material semiconductor  $\text{TiO}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3$  was performed. The hydrogen gas sensor pellets are made up of six samples with different compositions variations. Gas sensor stage hydrogen consists of mixing the material, calcining at a temperature of 500 °C during 4 hours, scouring, compaction, and sintering at temperature 700 °C for 4 hours. The hydrogen gas sensor is tested at room temperature by looking at the *I-V* characteristics, sensitivity value, conductivity value, response time, and XRD characterization. Based on the measurement of *I-V* characteristic, samples with mole variation of 98% mol of  $\text{TiO}_2$  + 2 mol%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  are the best result samples because they have the highest sensitivity. The sensitivity is 3.18 on 6 volt voltage. The highest conductivity value was sample 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  is  $1.30 \times 10^{-3}/\Omega\text{m}$  in the hydrogen environment. Response time a sample 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  at 6 volts voltage was 57 seconds. The XRD results shows the crystal size of 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  more large compared to pure  $\text{TiO}_2$*

*Keywords: hydrogen gas sensor,  $\text{TiO}_2\text{-Na}_2\text{CO}_3$ , sensitivity, conductivity, response time*

## I. PENDAHULUAN

Proses menipisnya cadangan sumber energi fosil dan meningkatnya kerusakan lingkungan akibat penggunaan energi fosil telah menjadi perhatian besar saat ini. Melihat kondisi tersebut maka sangat diperlukan energi alternatif yang dapat menggantikan energi fosil tersebut. Salah satu bentuk energi alternatif yang menjadi perhatian besar adalah hidrogen. Hidrogen merupakan bahan bakar ramah lingkungan, dimana energi yang dihasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses.

Gas hidrogen akan mudah meledak jika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada suhu 560°C. Hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni akan memancarkan gelombang ultraviolet yang tidak terlihat oleh mata manusia sehingga akan sulit mendeteksi terjadinya kebocoran gas hidrogen secara visual. Untuk mendeteksi kebocoran gas hidrogen, diperlukan sensor gas hidrogen (Aygun dan Cann, 2005).

Sensor gas yang banyak dikembangkan saat ini merupakan bahan semikonduktor metal oksida diantaranya  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{In}_2\text{O}_3$ . Sensor dengan bahan semikonduktor memiliki kelebihan dalam mendeteksi gas, salah satunya dapat dilihat dari perubahan konduktivitas pada bahan material semikonduktor. Bahan semikonduktor metal oksida yang sangat dipertimbangkan sebagai bahan dasar sensor gas adalah  $\text{TiO}_2$ . Sifat fisik dari  $\text{TiO}_2$  adalah reaksi

kimia yang dapat merubah sifat-sifat listrik, sehingga TiO<sub>2</sub> telah banyak digunakan dalam penelitian sensor gas dan aplikasi lainnya (Yadav, dkk., 2011). Proses pendeteksian didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan lapisan tipis dengan gas yang dideteksi .

Doping merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menambahkan sejumlah kecil atom pengotor ke dalam struktur kristal semikonduktor. Pemberian doping pada TiO<sub>2</sub> dapat menurunkan celah pita energinya (Elhajj, 2008). Sebelumnya Jung dan Yanasida (1996) telah melakukan penelitian mengenai sensor gas dari bahan semikonduktor CuO(Na)/ZnO berupa pelet pada temperature 260 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa sesnsitivitas yang didapatkan yaitu 2,00 pada 4000 ppm hidrogen. Li dkk. (2013) juga telah melakukan penelitian tentang sensor gas hidrogen menggunakan bahan TiO<sub>2</sub> doping Ni, hasilnya menunjukkan bahwa waktu respon yang didapat 170 s pada 1000 ppm hidrogen. Maiyeni dkk. (2017) juga melakukan penelitian mengenai sensor gas hidrogen dari bahan semikonduktor CuO(TiO<sub>2</sub>) dengan sensitivitas yang didapat sebesar 2,80.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran karakterisasi arus dan tegangan (*I-V*) untuk menentukan nilai sensitivitas sensor dan nilai konduktivitas sensor. Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu zat. Oleh karena itu akan dilakukan pengukuran karakteristik *I-V* sensor gas hidrogen dari bahan semikonduktor TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan natrium karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dengan menggunakan metode *solid-state reaction* sebagai sensor gas hidrogen. Semakin tinggi sensitivitas dan semakin cepat waktu responnya, maka semakin prospek bahan tersebut dijadikan sebagai bahan untuk membuat sensor gas.

## II. METODE

### 2.1 Pengujian Pebuatan Pelet TiO<sub>2</sub> didoping Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

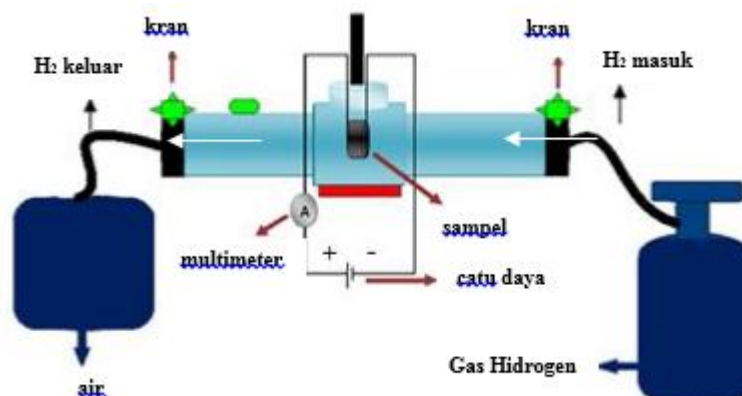
Pada penelitian ini dibuat sampel dengan persentase doping Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (*merck, 99%*) yaitu sebanyak 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% mol terhadap bahan dasar TiO<sub>2</sub> (*merck, 99%*), dimana massa sampel adalah 0,5 g .

Reaksi Kimia yang terjadi pada penelitian ini :



*x* adalah fraksi mol doping yang ditambahkan. Bahan sampel digerus selama 15 menit 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



Gambar 1 Skema rangkaian alat pengujian sensor hidrogen

Pelet yang telah di-sintering dikarakterisasi menggunakan alat pengujian sensor gas seperti pada Gambar 1. Pelet dirangkai bias maju dengan menghubungkan salah satu elektroda dengan kutub positif, sedangkan elektroda lainnya dengan kutub negatif. Posisi elektroda dibalik untuk pengukuran dengan bias mundur. Amperemeter dihubungkan secara seri dengan

catudaya dan pelet. Pengukuran dilakukan dengan variasi tegangan dari -30 Volt sampai 30 Volt dengan kenaikan 3 Volt.

Pengukuran karakteristik I-V akan menentukan nilai sensitivitas dan nilai konduktivitas sensor. Nilai sensitivitas dan konduktivitas dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3). Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu gas. Nilai sensitivitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

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

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (3)$$

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

*X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk melihat ukuran kristal dari sampel. Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$D = \frac{0,9\lambda}{\cos \theta} \quad (4)$$

dengan  $D$  adalah ukuran kristal,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $B$  adalah lebar penuh garis difraksi pada 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

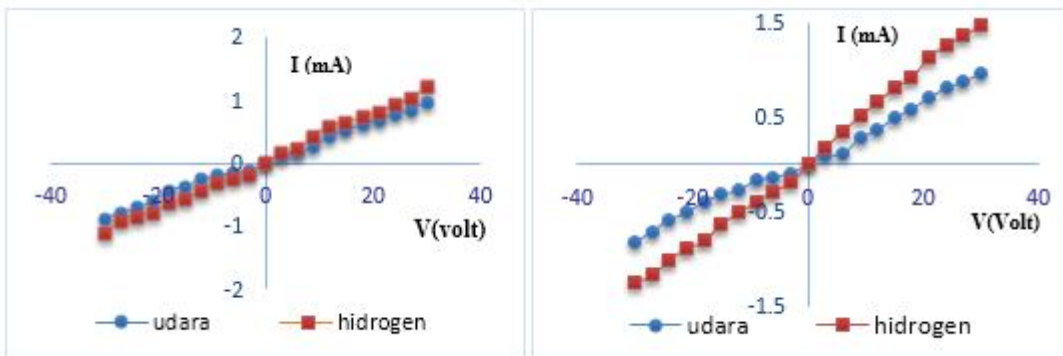
Karakteristik I-V yang menunjukkan perbedaan nilai arus dan tegangan pada lingkungan udara dan lingkungan hidrogen ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik I-V menunjukkan nilai arus pada lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan lingkungan udara, hal ini dikarenakan pada lingkungan hidrogen permukaan sensor menyerap molekul-molekul hidrogen lebih banyak dibandingkan pada lingkungan udara. Molekul-molekul tersebut mengikat elektron bebas pada permukaan bahan sensor. Pengikat elektron bebas tersebut menyebabkan lapisan deplesi pada antar muka butir kristal mengecil. Hal ini mengakibatkan arus yang mengalir pada lingkungan hidrogen akan meningkat.

Gambar 2 (a) memperlihatkan grafik karakteristik I-V dimana arus pada lingkungan hidrogen hampir overlap dengan arus pada lingkungan udara. Keadaan ini disebabkan oleh sampel  $TiO_2$  sebelum didoping kurang bereaksi dengan hidrogen dan mempunyai energi *gap* lebih besar dibandingkan setelah didoping, sehingga elektron tidak dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

Gambar 2 (b) menunjukkan sampel 98% mol  $TiO_2$  didoping dengan 2% mol  $Na_2CO_3$ , arus yang didapat pada lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara. Hal ini disebabkan karena hidrogen sangat maksimal bereaksi dengan oksida yang terdapat pada sampel 98% mol  $TiO_2$  + 2% mol  $Na_2CO_3$  sehingga dapat memperkecil daerah deplesi antar muka partikel yang membuat elektron mudah berpindah dari satu partikel ke partikel lainnya.

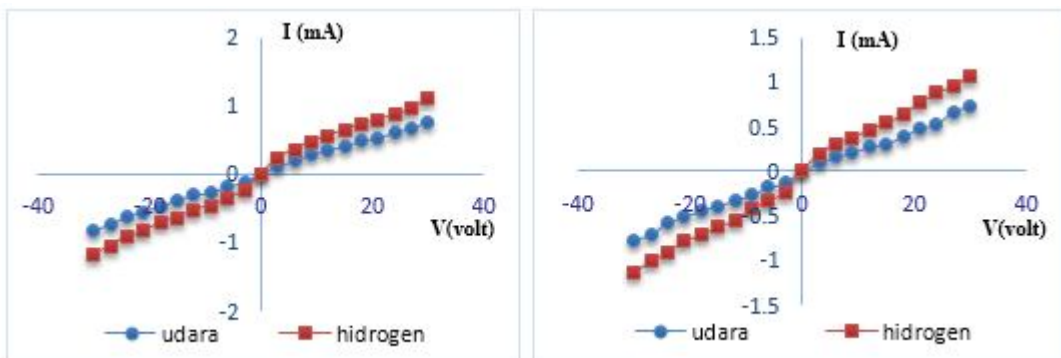
Gambar 2 (c) memperlihatkan sampel  $TiO_2$  didoping 4% mol  $Na_2CO_3$  bahwa perbedaan arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara yang didapat mengecil kembali. Hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan sehingga mengakibatkan elektron susah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Sama halnya dengan grafik I-V pada

Gambar 2 (d), (e), (f) bahwa perbedaan arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara adalah kecil.



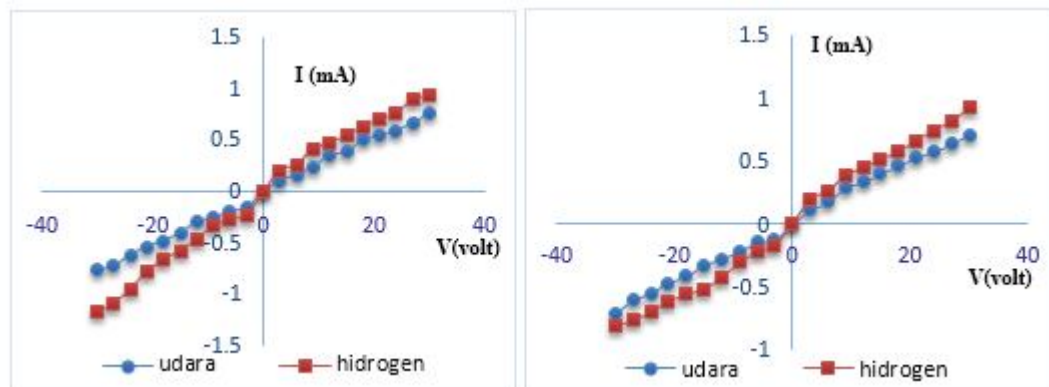
(a) 100% mol  $\text{TiO}_2$  + 0% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

(b) 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



(c) 96% mol  $\text{TiO}_2$  + 4% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

(d) 94% mol  $\text{TiO}_2$  + 6% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

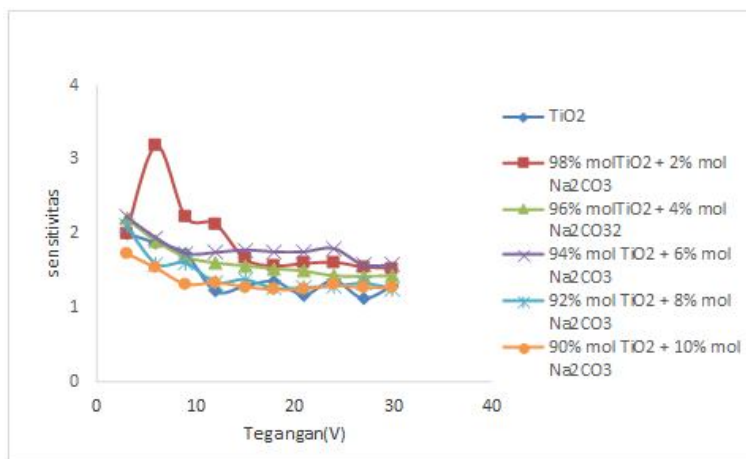


(e) 92% mol  $\text{TiO}_2$  + 8% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

(f) 90% mol  $\text{TiO}_2$  + 10% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

### 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. Sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  dengan doping 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yaitu sebesar 3,18 pada tegangan operasional 6 volt. Hal ini disebabkan karena doping 2% mol memiliki nilai arus yang tinggi pada lingkungan hidrogen. Arus yang tinggi disebabkan karena mengecilnya daerah deplesi sehingga elektron mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi dan banyak terjadi reaksi hidrogen dengan oksida, sedangkan sensitivitas terendah didapatkan pada sampel  $\text{TiO}_2$  doping 10% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .



**Gambar 3** Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

### 3.3 Karakteristik Konduktivitas

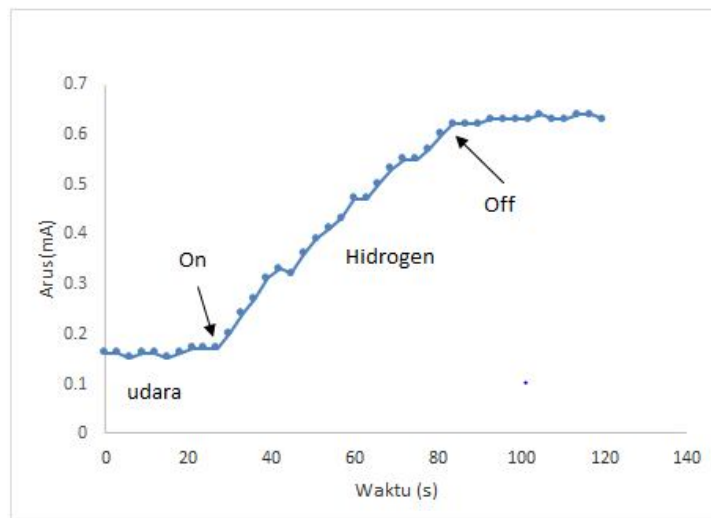
Nilai konduktivitas pada lingkungan udara dan lingkungan hidrogen dapat diketahui berdasarkan perhitungan sesuai dengan Persamaan 3. Nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan udara. Hal ini terjadi karena reaksi antara hidrogen dengan oksida pada permukaan partikel yang lebih besar pada lingkungan hidrogen dibandingkan pada lingkungan udara. Perubahan nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen dan lingkungan udara pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1. Sampel yang memiliki nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan udara yaitu pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan nilai konduktivitasnya adalah  $0,89 \times 10^{-3} / \Omega \cdot \text{m}$ . nilai konduktivitas tertinggi yang didapat pada lingkungan hidrogen juga terdapat pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yaitu  $1,30 \times 10^{-3} / \Omega \cdot \text{m}$ .

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

Sampel	Konduktivitas ( $10^{-5} / \Omega \cdot \text{m}$ )	
	Lingkungan Udara	Lingkungan Hidrogen
$\text{TiO}_2$	0,72	1,10
$\text{TiO}_2$ + 2% mol $\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,89	1,30
$\text{TiO}_2$ + 4% mol $\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,70	1,11
$\text{TiO}_2$ + 6% mol $\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,58	1,00
$\text{TiO}_2$ + 8% mol $\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,66	0,97
$\text{TiO}_2$ + 10% mol $\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,65	0,90

### 3.4 Karakteristik Waktu Respon

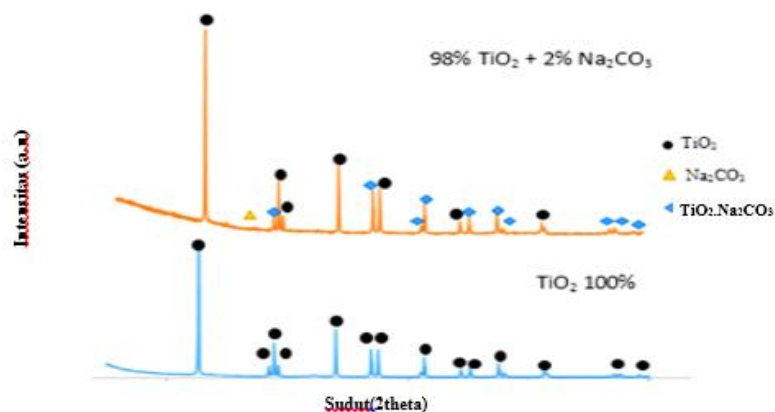
Waktu respon sebuah sensor gas sangat penting untuk diketahui, karena dengan mengukur waktu respon dapat diketahui sensor gas dalam mendeteksi gas tertentu disekitarnya. Waktu respon diukur pada sampel yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada tegangan operasional 6 volt. Waktu respon yang dimiliki sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dapat dilihat pada Gambar 4. Pengukuran waktu respon dilakukan dalam selang waktu 3 detik pada lingkungan udara hingga stabil selama 27 detik, kemudian setelah di udara dilanjutkan dengan mengalirkan gas hidrogen sehingga terjadinya peningkatan arus hingga pada detik ke 84. Hal ini disebabkan karena gas hidrogen yang bereaksi dengan oksida mengakibatkan daerah deplesi mengecil sehingga arus meningkat



Gambar 4 Grafik Waktu Respon

### 3.5 Karakteristik XRD

Pengamatan struktur kristal, ukuran kristal dan senyawa yang terbentuk dalam material  $\text{TiO}_2$  tanpa doping dan  $\text{TiO}_2$  yang didoping 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dilakukan menggunakan Difraksi sinar-X (XRD). Hasil karakteristik dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil XRD menunjukkan bahwa sampel  $\text{TiO}_2$  doping 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  terdapat puncak-puncak baru yaitu  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ . Penambahan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  terhadap  $\text{TiO}_2$  dapat mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal pada kedua sampel dihitung dengan menggunakan persamaan 4, ukuran kristal 100%  $\text{TiO}_2$  yaitu 118,23 nm. Ukuran kristal sampel  $\text{TiO}_2 + 2\%$  mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  adalah 124,28 nm. Sampel yang di XRD adalah sampel sebelum didoping dan setelah didoping dimana sampel yang telah didoping memiliki sensitivitas paling tinggi. Sampel dengan sensitivitas paling tinggi memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan sampel yang sensitivitasnya rendah. Senyawa  $\text{TiO}_2$  memiliki sistem kristal tetragonal sedangkan  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan sistem kristal monoklinik.



Gambar 5 Hasil uji difraksi sinar-X pada sampel  $\text{TiO}_2$  tanpa doping dan  $\text{TiO}_2 + 2\%$  mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

## IV. KESIMPULAN

Pengujian sensor gas semikonduktor dimana sensor telah mampu membedakan antara kondisi di lingkungan udara dengan kondisi di lingkungan hidrogen. Nilai sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  didoping 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yaitu 3,18 pada bias maju, menggunakan tegangan operasional 6 Volt pada temperatur ruang. Nilai konduktivitas di lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan di lingkungan udara. Nilai Konduktivitas tertinggi terdapat pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  didoping 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yaitu  $1,30 \times 10^{-5}/\Omega\text{m}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  didoping 2% mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan lama waktu respon yaitu 57 s. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal

TiO<sub>2</sub> didoping 2% mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 124,28 nm lebih besar dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> tanpa doping yaitu sebesar 118,23 nm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aygun, S. dan Cann, D., "Hydrogen Sensitivity of Doped CuO/ZnO Heterocontact Sensors", *Sensors And Actuators*, **106**, 837-842 (2005).
- Elhadj, J., "Electrosynthesis of TiO<sub>2</sub>-Au Composites for Water Splitting Applications and Their Photoelectrochemical Characterization", Thesis, Northeastern University, 2008.
- Jung, S.J., dan Yanasida, H., "The Characterization of a CuO/ZnO Heterocontact Type Gas Having Selectivity for CO Gas", *Sensors And Actuators*, **37**, 55-60 (1996).
- Li, Z., Ding, D., Liu, Q., dan Ning, C., "Hydrogen Sensing With Ni-Doped TiO<sub>2</sub> Nanotubes", *Open Access Sensors*, **13**, 8393-8402 (2013).
- Maiyeni, S., dan Elvaswer, "Karakterisasi I-V Semikonduktor CuO Didoping TiO<sub>2</sub> sebagai Sensor Gas Hidrogen", *Jurnal Fisika Unand*, **6**, hal. 263-269 (2017)
- Yadav, B.C., Shukla, T. Dan Sigh, S., "Solid-State Titania-Based Gas Sensor For Liquefied Petroleum Gas Detection At Room Temperature", *Bull Mater Sci*, **34**, 1639-1644 (2011).