

Karakterisasi Arus-Tegangan Sensor Gas Hidrogen dari Bahan Semikonduktor Heterokontak SnO₂/TiO₂ (Na₂CO₃)

Yulita*, Elvaswer

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia
*yulita.yuli95@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet heterokontak antara 100% mol SnO₂ dengan TiO₂ didoping dengan 0% mol, 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol, dan 10% mol Na₂CO₃. 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 dalam keadaan padat. Sensor gas hidrogen diuji pada temperatur ruang dengan pengukuran karakteristik *I-V*, nilai sensitivitas, konduktivitas, selektivitas, waktu respon, dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik *I-V* menunjukkan bahwa bahan dengan komposisi SnO₂/TiO₂ (2% mol Na₂CO₃) memiliki sensitivitas tertinggi yaitu 5 pada tegangan operasional 6 Volt. Nilai selektivitas tertinggi terdapat pada bahan dengan komposisi SnO₂/TiO₂ (2% mol Na₂CO₃) yaitu 3,5 pada tegangan operasional 18 V. Nilai konduktivitas tertinggi terdapat pada bahan dengan komposisi SnO₂/TiO₂ (2% mol Na₂CO₃) yaitu $6,01 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$ pada lingkungan hidrogen. Waktu respon bahan dengan komposisi SnO₂/TiO₂ (2% mol Na₂CO₃) pada gas hidrogen yaitu 39 sekon dan untuk gas oksigen yaitu 42 sekon pada tegangan operasional 6 V. Hasil XRD menunjukkan bahwa bahan dengan komposisi SnO₂/TiO₂ didoping dengan Na₂CO₃ mempunyai ukuran kristal antara 113,131 nm- 141,615 nm. Campuran TiO₂ didoping Na₂CO₃ telah terbentuk senyawa baru yaitu Na₄TiO₄.
Kata kunci : sensor, gas hidrogen, heterokontak, sensitivitas, waktu respon

ABSTRACT

*Characterization of hydrogen gas sensor in heterocontact between 100 mol% SnO₂ with TiO₂ doped of 0 mol%, 2 mol%, 4 mol%, 6 mol%, 8 mol%, and 10 mol% Na₂CO₃, as the second layer has been conducted. Hydrogen gas sensor was making began by mixing materials then calcinated at 500 ° C for 4 hours. After that, the samples crushed, compacted, and sintered at 700 ° C for 4 hours used solid state reaction method. The hydrogen gas sensor was tested at room temperature to see the *I-V* characteristic, sensitivity, conductivity, selectivity, response time, and XRD characterization. Based on *I-V* characteristics, the sample of SnO₂/TiO₂ (2 mol% of Na₂CO₃) has the highest sensitivity (5 at 6 Volts operating voltage) and highest selectivity (3.5 at 18 V operating voltage). The highest conductivity of $6.01 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$ in hydrogen environment was obtained SnO₂/TiO₂ (2% mol of Na₂CO₃) sample. The response time of SnO₂/TiO₂ (2 mol% of Na₂CO₃) in hydrogen gas is 39 seconds and 42 seconds for oxygen gas at 6 V operational voltage. XRD shows that the material with composition SnO₂/TiO₂ doped Na₂CO₃ has the crystal size in the range 113.131 nm-141.615 nm. TiO₂ doped Na₂CO₃ formed a new compound that is Na₄TiO₄.*

Kata kunci : sensor, hydrogen gas, heterocontact, sensitivity, response time

I. PENDAHULUAN

Hidrogen merupakan unsur yang paling melimpah di alam semesta. Hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, dan bervalensi tunggal (Yang dkk., 2014). Hidrogen sangat potensial digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, seperti mobil dan sepeda motor karena sifat hidrogen yang ramah lingkungan (Hüberrtdkk., 2014). Hidrogen biasanya disimpan dalam tabung-tabung baja. Hidrogen sering kali tidak terdeteksi jika terjadi kebocoran sehingga dapat mengakibatkan kebakaran. Resiko penggunaan gas hidrogen seperti kebakaran dapat diminimalisir apabila ada sensor yang mampu mendeteksi kebocoran gas tersebut. Untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran gas hidrogen, maka diperlukan sensor gas hidrogen sebagai keamanan jika terjadi kebocoran gas (Aygün dan Cann, 2005).

Sensor gas pada umumnya yang banyak dikembangkan menggunakan bahan semikonduktor oksida logam seperti SnO₂, WO₃, ZnO, TiO₂ dan CuO. Bahan SnO₂ ketersediaannya sangat melimpah di alam. Bahan SnO₂ merupakan bahan yang memiliki titik leleh dan titik lebur tinggi, mampu merespon sejumlah gas dengan baik, memiliki celah energi

sebesar 3,6 eV dan ketersediaan bahannya yang cukup melimpah. Bahan SnO₂ memiliki masa pemakaian yang relatif lama dan daya tahan yang tinggi (Shaposnik dkk., 2012).

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan bahan yang memiliki stabilitas termal yang cukup baik, memiliki sifat permukaan yang mudah bereaksi secara kimia (Fatimah, 2006). Bahan TiO₂ memiliki celah energi yang sangat besar yaitu 3,2 eV sehingga untuk memperkecil celah energinya dibutuhkan bahan pendoping (Tan dkk., 2006). Bahan pendoping TiO₂ yang digunakan yaitu Na₂CO₃.

Penelitian tentang gas hidrogen pernah dilakukan oleh Maiyeni dan Elvaswer (2017) juga melakukan penelitian sensor gas hidrogen dengan menggunakan bahan CuO didoping TiO₂ dengan metode keadaan padat. Dari penelitian itu didapatkan nilai sensitivitas tertinggi 2,80 dan waktu respon 42 detik pada suhu ruang. Mondal dkk. (2014) juga melakukan penelitian tentang gas hidrogen menggunakan bahan komposit ZnO-SnO₂. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan nilai selektivitas 0,35 dan waktu respon 60 detik untuk 10000 ppm gas hidrogen pada suhu 150°C dan . Aygun dan Cann (2005) juga telah melakukan penelitian tentang sensor gas hidrogen menggunakan bahan semikonduktor heterokontak CuO/ZnO dengan metode keadaan padat. Pada penelitian ini semikonduktor heterokontak didoping dengan bahan monovalen (Li, Na) dan isovalen (Ca, Sr, Ni). Nilai sensitivitas yang dihasilkan pada sampel CuO/ZnO dengan doping Na yaitu sebesar 4,8 pada tegangan 10 volt dengan suhu 400 °C untuk 4000 ppm.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat bahan sensor gas berupabahan semikonduktor heterokontak SnO₂/TiO₂(Na₂CO₃) dengan metode reaksi dalam keadaan padat. Bahan tersebut dikarakterisasi *I-V* untuk melihat nilai sensitivitas, selektivitas dan waktu respon serta dapat bekerja pada suhu kamar.

II. METODE

2.1 Persiapan Pembuatan Pelet SnO₂/TiO₂ (Na₂CO₃)

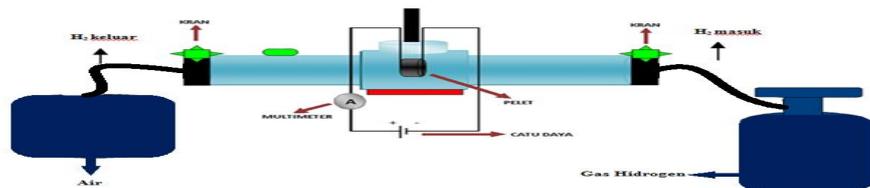
Bahan SnO₂, TiO₂ dan Na₂CO₃ disiapkan sebanyak enam variasi sampel. Bahan SnO₂ tanpa didoping dengan bahan lain disiapkan dengan massa 0,5 gram tiap-tiap sampel. Bahan TiO₂ didoping Na₂CO₃ dengan persentase doping 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% mol dengan massa 0,5 gram. Untuk setiap variasi sampel, dibuat 3 sampel. Komposisi TiO₂ dan Na₂CO₃ seperti pada Lampiran A dihitung berdasarkan reaksi kimia, seperti pada Persamaan 1 :



Sampel digerus selama 10 menit agar menjadi halus dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi, sampel digerus kembali agar butir-butir yang menggumpal menjadi lebih halus. Bahan dikompaksi sehingga berbentuk pelet, kemudian pelet disinter pada suhu 700° C selama 4 jam.

2.2 Karakterisasi Sensor Gas Hidrogen

Pelet yang telah disinter 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 seri dengan sumber tegangan dan pelet. Pengukuran bias maju dan bias mundur diberikan variasi tegangan dari -30 V sampai 30 V dengan interval 3.



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

Karakteristik I - V diukur untuk menentukan nilai sensitivitas, selektivitas, konduktivitas, dan waktu respon sensor. Sensitivitas merupakan kemampuan sensor untuk mendeteksi gas tertentu. Nilai sensitivitas ditentukan berdasarkan Persamaan 2.

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

Selektivitas merupakan kemampuan sensor dalam menyeleksi gas. Nilai selektivitas dapat ditentukan dari Persamaan 3.

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

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dari Persamaan 4.

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

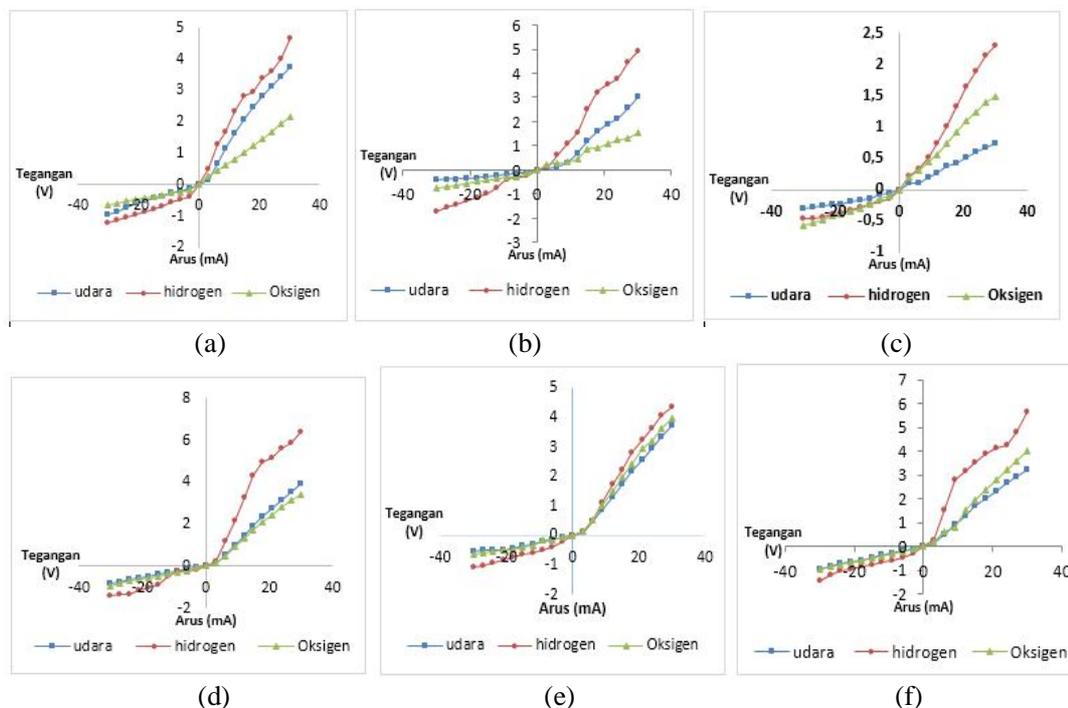
Waktu respon adalah waktu yang diperlukan sensor untuk mengenali gas yang akan dideteksinya dan karakterisasi sampel menggunakan XRD untuk menentukan ukuran kristal. Ukuran kristal dapat dihitung menggunakan Persamaan Scherrer pada Persamaan 5.

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

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik I - V Sampel pada Lingkungan Udara, Hidrogen dan Oksigen

Nilai karakteristik I - V masing-masing sampel pada lingkungan hidrogen, udara, dan oksigen dapat ditampilkan sebagai grafik arus-tegangan. Karakterisasi I - V masing-masing sampel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik karakteristik I - V pada lingkungan udara, hidrogen dan oksigen (a) $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$, (b) $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3), (c) $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (4% mol Na_2CO_3), (d) $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (6% mol Na_2CO_3), (e) $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (8% mol Na_2CO_3), (f) $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (10% mol Na_2CO_3)

Gambar 2 (a) menunjukkan bahwa perbandingan arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara dan oksigen tidak terlalu berbeda. Hal ini disebabkan oleh sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ dimana TiO_2 sebelum didoping mempunyai energi gap lebih besar dibandingkan setelah didoping sehingga elektron sulit untuk melompat dari pita valensi ke pita konduksi.

Gambar 2 (b) menunjukkan bahwa sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) memiliki perbedaan arus yang tinggi pada lingkungan hidrogen dibandingkan dengan arus pada lingkungan udara dan oksigen. Hal ini disebabkan karena hidrogen sudah bereaksi dengan oksida sehingga dapat memperkecil daerah deplesi sehingga elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Perbandingan antara arus pada lingkungan hidrogen dengan arus pada lingkungan udara dan juga oksigen pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel yang lainnya.

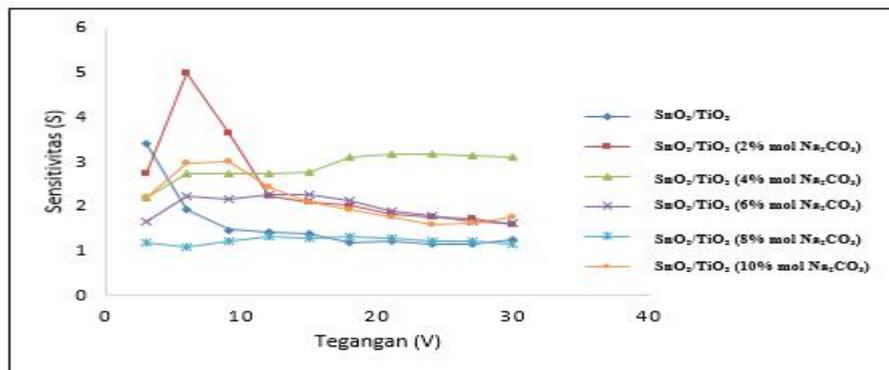
Gambar 2 (c) dan (d) menunjukkan bahwa pada bias maju, reaksi hidrogen dan oksigen dengan oksida sudah terjadi dengan indikasi arus pada lingkungan hidrogen dan oksigen lebih tinggi dari arus pada lingkungan udara. Sedangkan pada bias mundur perbandingan arus pada lingkungan hidrogen, oksigen dan udara kecil. Hal ini disebabkan karena pada bias mundur reaksi hidrogen dan oksigen dengan oksida sedikit terjadi sehingga daerah deplesi membesar.

Gambar 2 (e) menunjukkan bahwa pada bias maju maupun bias mundur didapatkan perbandingan arus pada lingkungan hidrogen, oksigen dan udara kecil. Hal ini disebabkan karena hidrogen belum bereaksi dengan oksida yang menyebabkan energi gap membesar sehingga elektron sulit berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

Gambar 2 (f) menunjukkan bahwa pada bias maju, reaksi hidrogen dengan oksida sudah terjadi dengan indikasi arus pada lingkungan hidrogen lebih besar dibandingkan dengan arus pada lingkungan udara. Sedangkan perbandingan arus pada lingkungan oksigen dan udara kecil. Hal ini disebabkan karena oksigen sedikit bereaksi dengan oksida sehingga elektron sulit melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Sedangkan pada bias mundur, perbedaan arus pada lingkungan hidrogen oksigen dan udara kecil. Hal ini disebabkan karena pada bias mundur daerah deplesi membesar dan reaksi hidrogen dengan oksida sedikit terjadi.

3.2 Karakteristik Sensitivitas

Selektivitas sensor gas hidrogen 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.

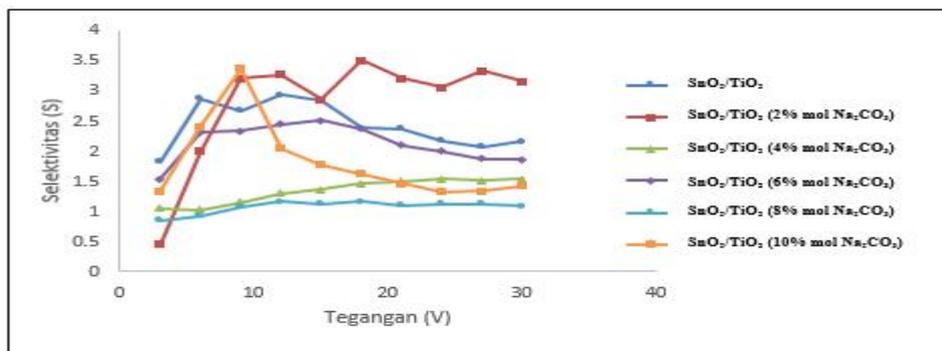


Gambar 3 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) yaitu sebesar 5 pada tegangan 9 Volt. Hal ini disebabkan karena perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan hidrogen dan lingkungan udara, sehingga terjadi pengecilan daerah deplesi pada lingkungan hidrogen yang menyebabkan mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Sedangkan sensitivitas terendah terdapat pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (8% mol Na_2CO_3). Hal ini disebabkan karena reaksi antar hidrogen dengan oksida sedikit, sehingga energi gap besar yang menyebabkan arus yang dihasilkan di lingkungan hidrogen kecil.

3.3 Karakteristik Selektivitas

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



Gambar 4 Grafik perubahan selektivitas terhadap tegangan

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai selektivitas tertinggi terdapat pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) yaitu 3,5 pada tegangan 18 volt. 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 diketahui berdasarkan perhitungan sesuai dengan Persamaan 4. Perubahan nilai konduktivitas sebelum dan sesudah dialiri gas hidrogen pada masing-masing sampel terdapat pada Tabel 1.

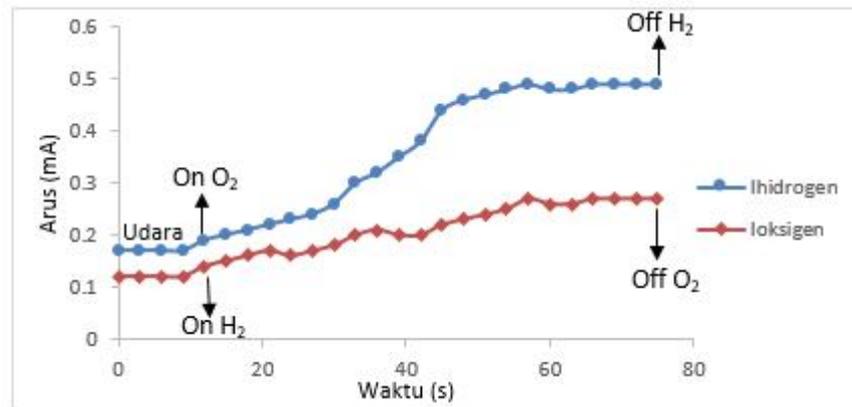
Tabel 1 Perubahan konduktivitas pada lingkungan udara dan hidrogen

Sampel	Konduktivitas ($10^{-3} / \Omega\text{m}$)	
	Lingkungan Udara	Lingkungan Hidrogen
$\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$	2,40	4,21
$\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3)	1,20	6,01
$\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (4% mol Na_2CO_3)	0,72	1,98
$\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (6% mol Na_2CO_3)	3,19	3,59
$\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (8% mol Na_2CO_3)	2,77	2,07
$\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (10% mol Na_2CO_3)	3,73	4,68

Nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas pada lingkungan udara. Nilai konduktivitas tertinggi di lingkungan udara terdapat pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (10% mol Na_2CO_3) yaitu $3,73 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$. Nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan hidrogen terdapat pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) yaitu $6,01 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi antara hidrogen dengan oksida yang dapat memperkecil daerah deplesi yang mengakibatkan elektron mudah berpindah ke pita konduksi.

3.5 Karakteristik Waktu Respon Sensor terhadap Gas Hidrogen dan Gas Oksigen

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 nilai sensitivitas tertinggi yaitu sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) pada tegangan operasional 6 Volt. Grafik hasil pengukuran waktu respon dapat dilihat pada Gambar 5.



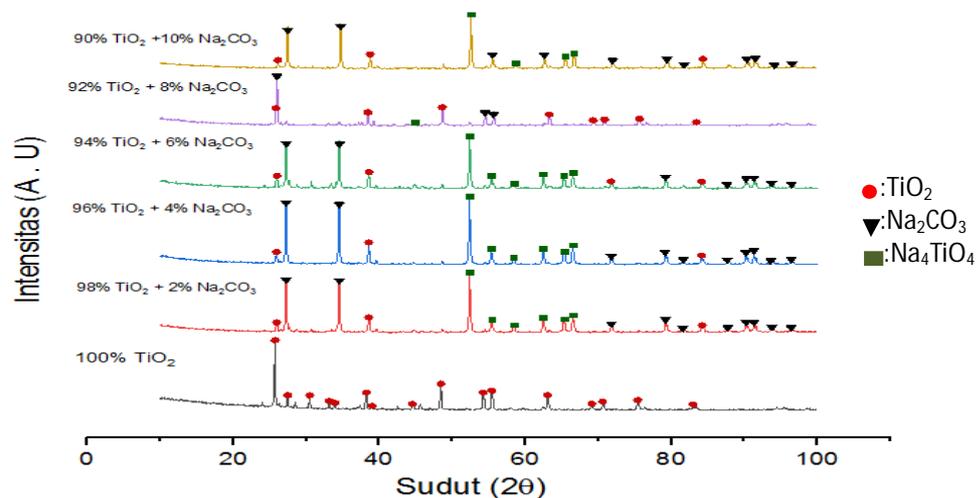
Gambar 5 Grafik waktu respon sensor gas hidrogen dan oksigen

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-51 s. Hal ini disebabkan karena gas hidrogen yang bereaksi dengan oksida mengakibatkan daerah deplesi mengecil sehingga arus meningkat. Waktu respon yang diperoleh pada sampel yaitu 39 sekon pada suhu kamar.

Pada penelitian ini juga dihitung waktu respon sensor terhadap gas oksigen. Pengukuran dilakukan pada lingkungan udara hingga stabil, kemudian setelah di udara dilanjutkan dengan mengalirkan gas oksigen sampai didapatkan nilai arus yang stabil. Arus stabil pada lingkungan udara dari detik ke-0 s hingga ke-12 s. Kemudian saat gas oksigen dialirkan terjadi peningkatan arus secara bertahap sampai detik ke-54 s. Waktu respon yang diperoleh pada sampel yaitu 42 sekon pada suhu kamar.

3.6 Karakteristik Sampel Menggunakan XRD

Pengamatan struktur kristal, ukuran kristal dan senyawa yang terbentuk dalam material TiO_2 yang didoping Na_2CO_3 dengan persentase 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% mol menggunakan XRD. Penambahan Na_2CO_3 mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Hasil karakteristik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pola difraksi sinar-X pada sampel

Hasil XRD menunjukkan menunjukkan bahwa sampel yang telah didoping terdapat terbentuknya senyawa baru yaitu Na_4TiO_4 . Setelah TiO_2 didoping ukuran kristal mengecil sampai 4% mol Na_2CO_3 dibandingkan dengan TiO_2 murni. Hal ini disebabkan karena pengaruh doping selama *sintering* mengakibatkan suatu kristal terpisah menjadi beberapa kristal sehingga ukuran kristal mengecil dibandingkan sebelum didoping. Sebaliknya jika persentase doping

ditingkatkan menjadi 6% sampai 10% mol Na_2CO_3 ukuran kristal meningkat. Hal ini disebabkan karena dua kristal membentuk antar muka kemudian bergabung menjadi satu sehingga ukuran kristal menjadi lebih besar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sensor gas hidrogen yang telah dibuat mampu membedakan antara kondisi di lingkungan udara, oksigen dan hidrogen. Nilai sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) yaitu 5 pada tegangan 6 Volt dan nilai selektivitas tertinggi yaitu 3,5 menggunakan tegangan operasional 18 V pada suhu kamar. Nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan hidrogen terdapat pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ dimana TiO_2 (2% mol Na_2CO_3) yaitu $6,01 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$ dan pada lingkungan udara pada sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (10% mol Na_2CO_3) yaitu $4,68 \times 10^{-3} / \Omega\text{m}$. Waktu respon sampel $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ (2% mol Na_2CO_3) pada gas hidrogen yaitu 39 sekon dan untuk gas oksigen yaitu 42 sekon menggunakan tegangan operasional 6 V. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal bahan dengan komposisi $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ didoping dengan Na_2CO_3 yaitu antara 113,131 nm-141,615 nm serta senyawa baru yang terbentuk yaitu Na_4TiO_4 .

DAFTAR PUSTAKA

- Aygun, S. dan Cann, D., "Hydrogen Sensitivity of Doped CuO/ZnO Heterocontact sensors", *Sensors and Actuators B*, 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).
- Fatimah, I., "Dispersi TiO_2 ke dalam SiO_2 -montmorillonit Efek Jenis Prekursor", *Jurnal Penelitian Saintek*, 14, 23-29, (2006).
- Hübert, L., Boon-Brett, V., Palmisano, M. A., Bader, "Developments in gas sensor technology for hydrogen safety", *International Journal of Hydrogen Energy*, 1-10, (2014).
- Maiyeni, S., Elvaswer, "Karakteristik I-V Semikonduktor CuO Didoping TiO_2 Sebagai Sensor Gas Hidrogen", *Jurnal Fisika Unand*, 6, 263-269, (2017).
- Mondal, B., Basumatari, B., Das, J., Roychoudhury, C., Saha, H., Mukherjee, N., "ZnO-SnO₂ based Composite Type Gas Sensor for Selective Hydrogensensing", *Sensors and Actuators B*, 194, 389-396, (2014).
- Shaposhnik, D., Pavelko, R., Liobert, E., Gispert, G.F., Vilanova, X., "Hydrogen Sensors pn The Basis of SnO₂-TiO₂ System", *Sensors and Actuators B*, 527-534, (2012).
- Tan, O.K., Cao, W., Zhu, W., Chai, J.W., dan Pan, J.S., "Ethanol Sensors Based on Nano-Sized $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ with SnO₂, ZrO₂, TiO₂ Solid Solutions", *Sensor and Actuators B*, 93, 396-401, (2003).
- Yang, I., Yin, C., Zhang, Z., dan Zhu, B., "A Study of Hydrogen Sensing Properties and Microstructure for Highly Dispered Pd SnO₂ Thin Films with High Response Magnitude", *Applied Surface Science*, 24, 74-82 (2014).