

Karakterisasi Arus dan Tegangan Sensor Okigen dari Bahan TiO_2 Didoping dengan SnO_2

Harma Dwi Putri*, Elvaswer

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

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi arus dan tegangan sensor gas oksigen berbentuk pelet dari bahan semikonduktor TiO_2 didoping dengan SnO_2 . Sensor gas oksigen dibuat dengan konsentrasi doping SnO_2 yang berbeda. Proses pembuatan sensor gas oksigen diawali dengan pencampuran bahan, kemudian sampel dikalsinasi pada temperatur 500 °C selama 4 jam menggunakan metode reaksi dalam keadaan padat. Sensor gas oksigen diuji pada temperatur ruang untuk mendapatkan karakteristik I - V , menentukan nilai sensitivitas, konduktivitas dan waktu respon dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik I - V , sensitivitas tertinggi terdapat pada komposisi bahan 92% mol TiO_2 + 8% mol SnO_2 yaitu 4,08 pada tegangan 24 volt. Nilai konduktivitas tertinggi terdapat pada komposisi bahan 92% mol TiO_2 + 8% mol SnO_2 yaitu $2,81 \times 10^{-2}/\Omega\text{m}$ di lingkungan oksigen, dengan waktu respon 32 sekon dan tegangan 24 volt. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal 92% mol TiO_2 + 8% mol SnO_2 yaitu 86,53, nm lebih kecil dibandingkan dengan TiO_2 tanpa doping yaitu 121,17 nm.

Kata kunci: Sensor gas oksigen, TiO_2 - SnO_2 , sensitivitas, konduktivitas, waktu respon.

ABSTRACT

Characterization of current and voltage of oxygen gas sensors in the form of pellets from TiO_2 semiconductor material, doped with SnO_2 has been conducted. Oxygen gas sensor was prepared with different SnO_2 concentration. The making of oxygen gas sensors begun with mixing of material, calcining at a temperature of 700 °C for 4 hours using a solid state reaction method. The oxygen gas sensor was tested at room temperature with characteristics I - V , to determine of sensitivity, conductivity and response time of gas sensor and XRD characterization. Based on the measurement of I - V characteristics, the highest sensitivity is found in the composition of 92 mol% TiO_2 + 8 mol% SnO_2 which is 4.08 at 24 volts. The highest conductivity value is found in the material composition of 92 mol% TiO_2 + 8 mol% SnO_2 which is $2.81 \times 10^{-2}/\Omega\text{m}$ in an oxygen environment, with a response time of 32 seconds and a voltage of 24 volts. The results XRD showed that a crystal size of 92 mol% TiO_2 + 8 mol% SnO_2 is 86.53 nm, smaller than that of TiO_2 without doping that is 121.17 nm.

Keywords: oxygen gas sensor, SnO_2 -doped TiO_2 , sensitivity, conductivity, response time.

I. PENDAHULUAN

Oksigen dihasilkan oleh tumbuhan hijau yang berfotosintesis melalui penguraian karbon dioksida. Oksigen merupakan unsur yang paling mudah bereaksi dengan semua unsur lain termasuk karbon dioksida. Karbon dioksida dibantu sinar matahari dapat membentuk oksigen di atmosfer. Selain itu, oksigen juga dapat dihasilkan oleh tumbuhan hijau yang berfotosintesis melalui penguraian karbon dioksida.

Pemanfaatan oksigen telah dikembangkan dalam berbagai hal seperti, pada bidang medis oksigen dikemas dalam bentuk tabung, digunakan untuk membantu pasien yang mengalami gangguan pernapasan. Hal yang perlu diperhatikan adalah kandungan oksigen yang ada di udara. Pengukuran kadar oksigen juga diperlukan untuk mengetahui oksigen dalam tanah, media berpori, pemantauan oksigen di daerah tambang dan pemantauan oksigen di lingkungan untuk mengontrol iklim. Salah satu pengukuran oksigen dibutuhkan pada kendaraan sebagai alat yang dapat mengukur konsentrasi gas buang oksigen pada mesin pembakaran. Ketika terjadi kerusakan pada sensor oksigen, hal ini dapat menyebabkan pemborosan pada bahan bakar. Selain itu, dapat memicu kerusakan pada komponen mesin yang menjadi panas.

Konsentrasi gas oksigen dapat dideteksi menggunakan sensor oksigen. Sensor oksigen yang efisien harus memiliki sensitivitas yang tinggi, waktu respon yang singkat dan selektivitas yang baik pada suhu yang rendah (Sharma, 1998). Sensor oksigen dapat dibuat dari material

logam oksida yang sensitif terhadap gas oksigen seperti *Titanium Dioxide* (TiO_2), *Zinc Oxide* (ZnO) dan *Tin Oxide* (SnO_2).

Sensor dapat dibuat berupa film tipis dan pelet. Pada penelitian ini sensor oksigen dibuat dari material semikonduktor logam oksida dengan metode keadaan padat dalam bentuk pelet. Sensor dalam metode keadaan padat menunjukkan kemampuan respon sensor yang cepat dan penggunaan yang sederhana (Patil, dkk., 2011). Material semikonduktor logam oksida yang digunakan pada penelitian ini adalah TiO_2 , karena memiliki sifat kimia yang tidak mudah bereaksi dengan unsur lain dalam waktu yang relatif lama, transfer muatan yang tinggi memudahkan elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, dan sifat listrik yang baik. Sifat ini membuat TiO_2 banyak digunakan dalam berbagai penelitian sensor gas (Yadav, dkk., 2011).

Mekanisme kerja sensor oksigen dari bahan TiO_2 yang didoping dengan niobium (Nb) telah diteliti oleh Sharma dkk (1998), menggunakan metode *solid state reaction*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sensitivitas sensor yang didoping lebih besar dibandingkan tanpa doping. Nilai sensitivitasnya adalah 3 dengan temperatur $400\text{ }^\circ\text{C}$, pada 1200 ppm gas oksigen. Sensor ini masih menggunakan pemanas dalam pemakaiannya karena hanya dapat bekerja pada temperatur tinggi.

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang sensor gas oksigen dari bahan TiO_2 yang didoping dengan ZnO dalam keadaan padat, yang berbentuk pelet pada temperatur ruang oleh Putri dan Elvaswer (2016). Hasil penelitiannya menunjukkan nilai sensitivitas tertinggi pada TiO_2 yang didoping dengan 8% mol ZnO adalah 2,46, tegangan 3 volt dengan waktu respon sampel 55 sekon. Nilai sensitivitas dan waktu respon yang didapatkan masih bisa rendah, oleh sebab itu dari penelitian ini masih dapat ditingkatkan nilai sensitivitas dan waktu responnya.

Kemampuan sensor gas dapat ditingkatkan dengan cara memberi bahan doping dari material sejenis logam oksida atau berupa logam mulia. Material logam oksida yang dipilih pada penelitian ini adalah SnO_2 , karena memiliki beberapa kelebihan yaitu; ketersediaan yang melimpah, masa pemakaian yang lama dan relatif stabil. Selain itu SnO_2 juga digunakan sebagai katalis dalam produksi SnO_2 sebagai sumber utama sintesis. Sebagai sensor, SnO_2 dapat mengurangi gas oksigen yang terbuang apabila terjadi kebocoran (Silver dan Juarez, 2005).

Film tipis Ga didoping SnO_2 dengan ketebalan 50 nm dapat digunakan sebagai sensor oksigen. Hasilnya menunjukkan sensitivitas tertinggi sebesar 2.1, dengan suhu operasi maksimal $350\text{ }^\circ\text{C}$ pada konsentrasi doping 3% SnO_2 dari bahan utama Ga. Namun, setelah mencapai suhu maksimal $350\text{ }^\circ\text{C}$ sensitivitas kembali menurun seiring meningkatnya suhu (Silver dan Juarez, 2005).

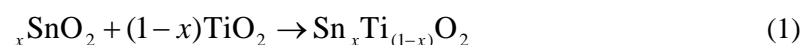
Pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi arus dan tegangan sensor oksigen dari bahan TiO_2 didoping dengan SnO_2 , dibuat dengan metode keadaan padat yang berbentuk pelet. Diharapkan sensor dari bahan TiO_2 didoping SnO_2 dapat meningkatkan sensitivitas terhadap gas oksigen, memiliki waktu respon yang singkat serta dapat beroperasi pada temperatur ruang.

II. METODE

2.1 Persiapan Pembuatan Pelet TiO_2 didoping SnO_2

Pada penelitian ini sampel dibuat dengan enam variasi persentase doping SnO_2 (*merck*, 99%) yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap bahan dasar TiO_2 (*merck*, 99%). Sampel pelet yang diuji berdiameter 1,55 mm dengan tebal 3,1 mm.

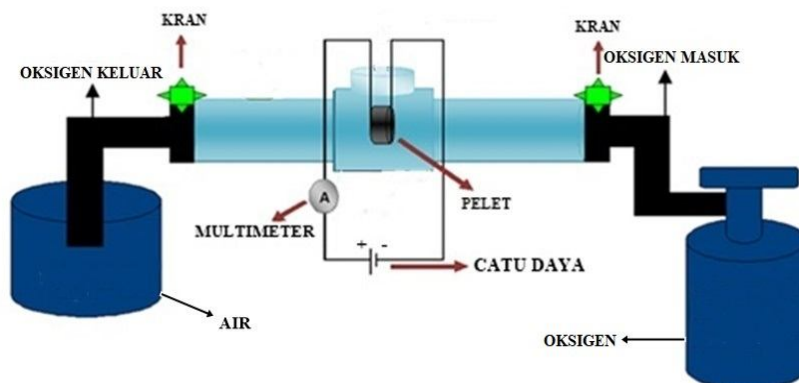
Reaksi kimia yang terjadi pada penelitian ini :



x adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol. Bahan sampel digerus selama 1 Jam sampai homogen, kemudian dikalsinasi pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam, kemudian bahan dikompaksi, setelah dikompaksi bahan disintering pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam (Deswardani dan Elvaswer, 2013).

2.2 Karakterisasi Sensor Gas Oksigen

Pada tahap ini dipersiapkan alat pengujian sensor oksigen. Perangkat pengujian sensor ini meliputi alat pengaliran gas oksigen dan keran untuk membuka dan menutup aliran oksigen, catudaya, multimeter digital, tabung berisi oksigen. Skema rancangan alat pengujian sensor oksigen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema rangkaian alat pengujian sensor gas oksigen

Pelet yang telah *disintering* dikarakterisasi dengan rangkaian pengujian sensor gas oksigen. Alat pengujian berfungsi untuk mengalirkan gas oksigen. Pelet diberikan tegangan bias maju dengan menghubungkan salah satu bagian elektroda dengan kutub positif sedangkan yang lain dengan kutub negatif dan pemberian bias mundur dengan polaritas yang dibalik. Antara pelet dan catu daya dihubungkan ke amperemeter, sehingga arus dan tegangan dapat diukur. Pengukuran bias maju dan bias mundur diberikan variasi tegangan dari -30 V sampai 30 V dengan interval tegangan 3 V.

Pengukuran karakterisasi I - V akan menentukan nilai sensitivitas sensor dan nilai konduktivitas sensor. Sensitivitas dan konduktivitas dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) dan (3)

$$S = \frac{I_o}{I_u} \quad (2)$$

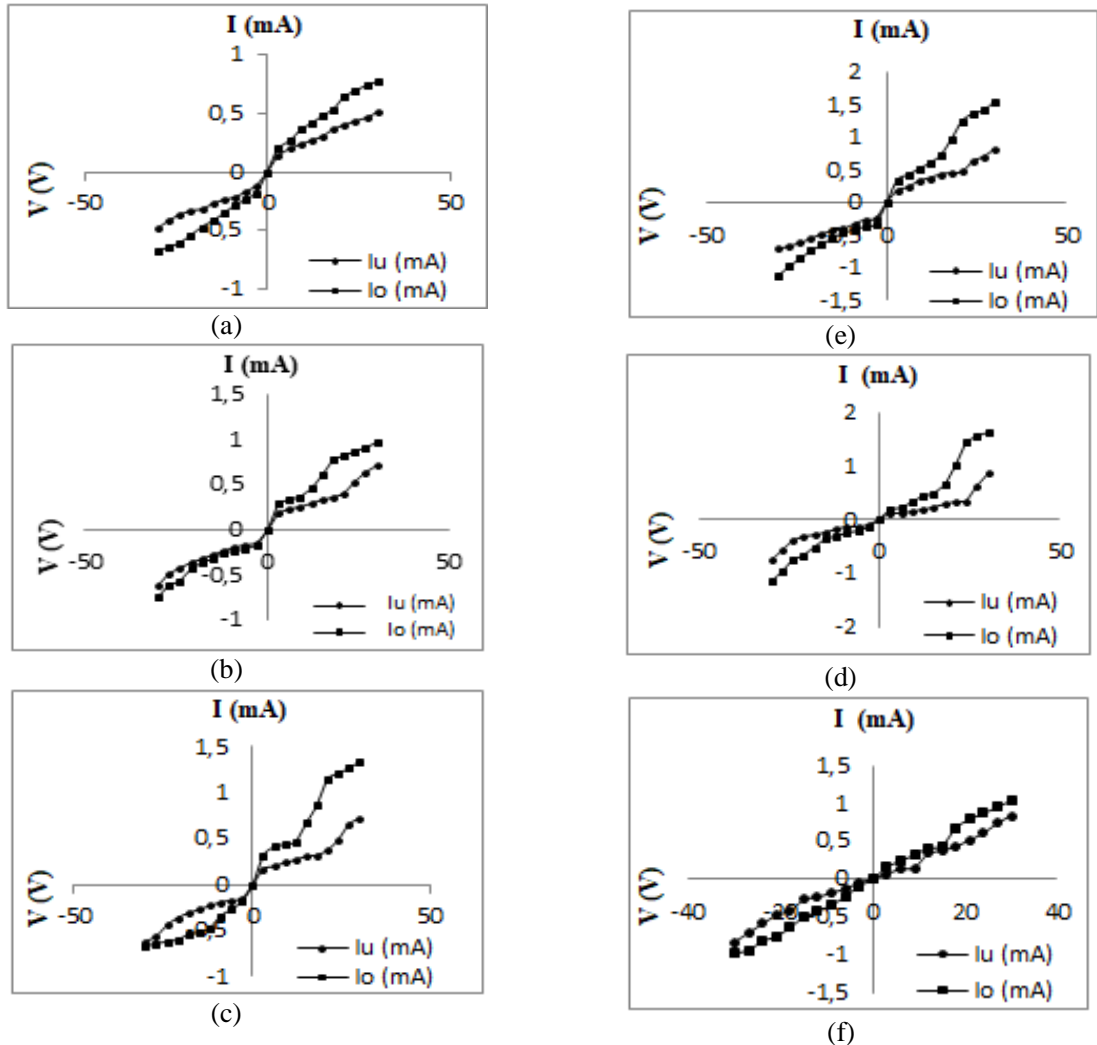
$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (3)$$

dengan S adalah sensitivitas, I_o adalah arus pada lingkungan oksigen, I_u adalah arus di lingkungan udara, σ adalah konduktivitas, L adalah tebal sampel, R adalah resistansi, dan A adalah luas penampang

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik I - V pada Lingkungan Udara dan Oksigen

Karakteristik I - V pada lingkungan udara dan lingkungan oksigen diamati dengan mengukur nilai arus dan tegangan. Karakteristik I - V berupa grafik yang menunjukkan perbedaan nilai arus dan tegangan pada masing-masing sampel TiO_2 yang didoping dengan SnO_2 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik *I-V* sampel (a) 100% TiO₂, (b) 98% TiO₂ + 2% mol SnO₂, (c) 96% TiO₂ + 4% mol SnO₂, (d) 94% TiO₂ + 6% mol SnO₂, (e) 92% TiO₂ + 8% mol SnO₂, (f) 90% TiO₂ + 10% mol SnO₂

Gambar 2 (a) menunjukkan perbandingan nilai arus terhadap lingkungan oksigen dan udara pada sampel tanpa doping. Dari grafik dapat dilihat bahwa material semikonduktor dari bahan TiO₂ sudah dapat membedakan arus pada lingkungan udara dan oksigen. Hal ini disebabkan material TiO₂ dapat memperkecil daerah deplesi yang memudahkan elektron berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi. Namun, pada sampel ini, nilai arus maksimal yang didapatkan masih rendah yaitu 0,81 mA pada lingkungan oksigen dan 0,51 pada lingkungan udara. Oleh karena itu diberikan doping SnO₂ agar nilai yang didapatkan lebih besar.

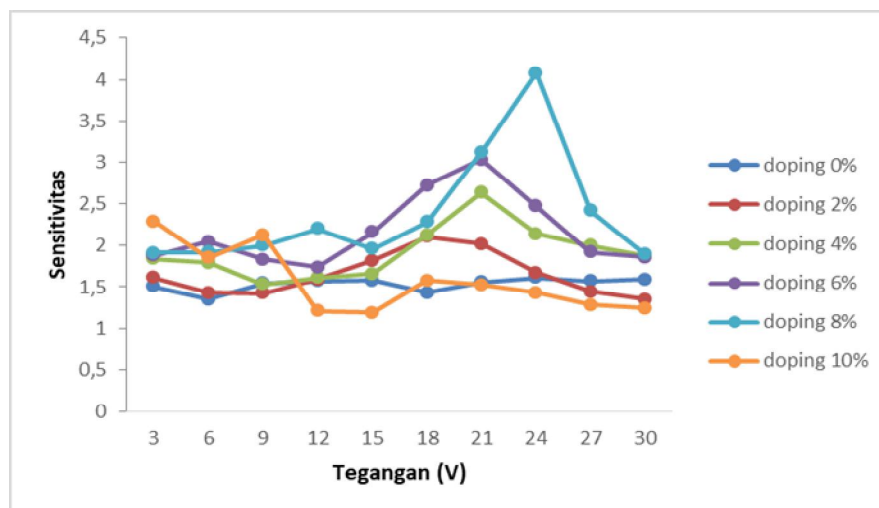
Gambar 2 (b), (c), (d), (e) dan (f) merupakan gambar grafik *I-V* setelah penambahan variasi doping. Hasilnya menunjukkan bahwa sampel dengan doping menunjukkan nilai arus yang lebih tinggi dibandingkan tanpa doping. Hal ini juga disebabkan karena bahan doping juga dapat mempengaruhi energi gap. Pengaruh penambahan doping SnO₂ sangat baik dalam merespon gas oksigen, karena ketika pendopingnya ditambah, maka nilai arusnya juga semakin meningkat. Sedangkan pada Gambar 2 (e) terlihat arus tertinggi dari sampel yang lain, yaitu 1,64 mA pada lingkungan oksigen, pada dopingan 8% mol SnO₂. Hal ini disebabkan karena arus pada lingkungan oksigen optimum bereaksi dengan oksida yang terdapat pada sampel dopingan 8% SnO₂ karena dapat memperkecil daerah deplesi, sehingga elektron mudah berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi.

Gambar 2 (f) menunjukkan perbandingan arus pada lingkungan oksigen dan lingkungan udara menurun. Hal ini disebabkan pada sampel ini pemberian doping yang maksimal sebanyak

10% SnO₂. Doping yang berlebihan dapat menurunkan daerah deplesi, karena terjadinya hubungan antar muka gas oksigen dengan SnO₂ sehingga akan mengurangi reaksi kimia antara kimia oksigen dengan oksida.

3.2 Karakteristik Sensitivitas

Sensitivitas sensor oksigen dari bahan TiO₂ didoping dengan SnO₂ Sensitivitas dapat diketahui dari grafik karakteristik *I-V* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel dengan pendoping 8% SnO₂ yaitu 4,08 pada tegangan 24 Volt. Doping 8% SnO₂ dapat mengecilkan daerah deplesi sehingga elektron mudah berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi.



Gambar 3 Grafik Perubahan Sensitivitas Terhadap Tegangan

Sensitivitas paling rendah didapatkan pada sampel 90% TiO₂ yang didoping dengan 10% SnO₂ yaitu, 1,19 pada tegangan 15 Volt. Hal ini disebabkan terlalu banyak doping yang diberikan sehingga dapat memperlebar daerah deplesi, karena terjadinya hubungan antar muka gas oksigen dengan SnO₂ sehingga akan mengurangi reaksi kimia antara oksigen dengan oksida. Akibatnya perbandingan nilai arus pada lingkungan oksigen dan udara kecil.

3.3 Nilai Konduktivitas Sampel di Lingkungan Udara dan Oksigen

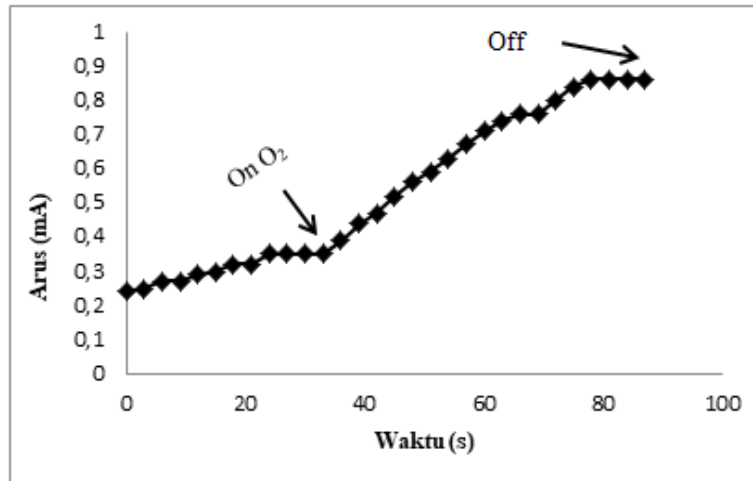
Hasil dari konduktivitas dapat dilihat berdasarkan Tabel 1. Nilai konduktivitas juga dapat menunjukkan perbedaan nilai sampel sebelum dan sesudah dialiri oksigen. Konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan lingkungan udara. Hal ini disebabkan banyaknya oksigen yang dapat bereaksi dengan oksida, sehingga dapat mengecilkan daerah deplesi. Pengecilan daerah deplesi ini dapat memudahkan elektron berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi.

Tabel 1 Konduktivitas Masing-Masing Sampel di Lingkungan Udara dan Oksigen

No	Sampel	Konduktivitas ($10^{-2}/\Omega.m$)	
		Lingkungan Udara	Lingkungan Oksigen
1.	100% mol TiO ₂	1,42	2,67
2.	98% mol TiO ₂ +2% mol SnO ₂	1,23	1,66
3.	98% mol TiO ₂ +2% mol SnO ₂	1,42	2,67
4.	96% mol TiO ₂ +4% mol SnO ₂	1,23	2,29
5.	92% mol TiO ₂ +8% mol SnO ₂	1,49	2,81
6.	90% mol TiO ₂ +10% mol SnO ₂	1,44	1,78

3.4 Karakteristik Waktu Respon

Waktu respon diukur pada sampel 92% TiO₂ didoping dengan 8% SnO₂, karena pada sampel ini menunjukkan sensitivitas paling tinggi dibandingkan sampel lain. Waktu respon sampel dapat dilihat pada Gambar 4.

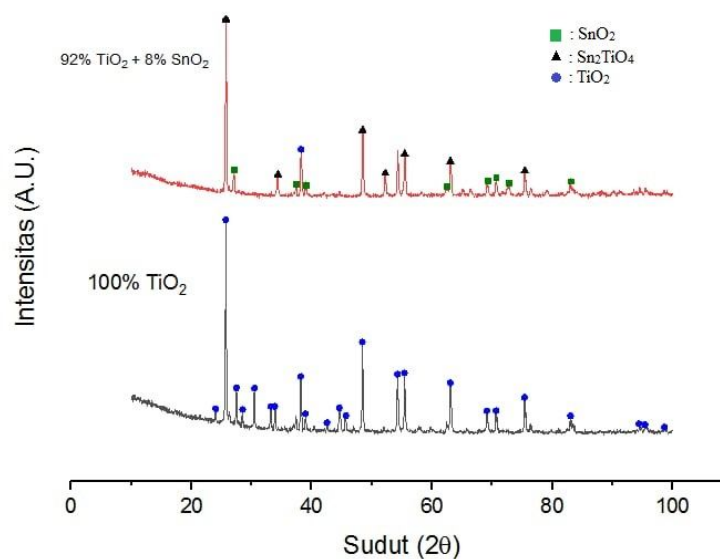


Gambar 4 Grafik Waktu Respon Sampel

Gambar 4 menunjukkan pengukuran waktu respon saat berada di udara, nilai arus tidak terlalu meningkat, hal ini disebabkan karena oksigen belum sepenuhnya bereaksi dengan oksida, sehingga belum menunjukkan arus yang tinggi. Nilai arus pada setiap detik juga tidak terlalu meningkat, arus mulai stabil selama detik ke 33 s. Setelah dilakukan pengukuran di lingkungan udara, dilanjutkan dengan pengukuran waktu respon pada lingkungan oksigen. Pada lingkungan oksigen arus mulai meningkat, karena gas oksigen mulai bereaksi pada permukaan semikonduktor yang menyebabkan nilai arus meningkat hingga pada detik ke 75 s. Waktu respon yang diperoleh pada sampel 92% TiO₂+ 8% SnO₂ adalah 32 s.

3.5 Karakteristik XRD

Difraksi Sinar-X dapat memperlihatkan ukuran kristal dengan polanya. Karakterisasi XRD telah dilakukan pada 2 sampel, yaitu pada sample 100% TiO₂ dan sampel yang memiliki sensitivitas tertinggi 92% TiO₂+ 8% SnO₂. Pola difraksi Sinar-X dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Pola Difraksi Sinar-X Pada Sampel 92% mol TiO₂ + 8% mol SnO₂

Hasil dari *XRD* pada sampel 92% TiO_2 + 8% SnO_2 menunjukkan terdapat puncak baru yaitu Sn_2TiO_4 . Munculnya puncak baru menandakan terbentuknya senyawa baru dari hasil TiO_2 yang didoping dengan SnO_2 . Gabungan dari bahan ini akan mempengaruhi ukuran kristal. ukuran kristal pada sampel 92% mol TiO_2 + 8% mol SnO_2 adalah 86,53 nm lebih kecil dari pada ukuran kristal sampel 100% mol TiO_2 yaitu 121,17 nm.

Ukuran kristal sampel 92% mol TiO_2 + 8% mol SnO_2 lebih kecil disebabkan karena ketika kedua bahan digabungkan, masing-masing bahan saling membelah diri sehingga terjadinya pertumbuhan kristal yang membuat ukuran kristal semakin kecil per satuan volume, dimana pada temperatur yang tinggi akan membuat ukuran kristal menjadi kecil. Terlihat pada grafik bahwa terbentuk senyawa baru yaitu Sn_2TiO_4 dengan sistem kristal tetragonal, sedangkan pada TiO_2 juga dengan sistem kristal tetragonal.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini sudah mampu menunjukkan kemampuan sensor dalam membedakan arus pada lingkungan oksigen dan udara. Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel 92% mol TiO_2 + 8% mol SnO_2 yaitu 4,08. Konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan udara. Konduktivitas tertinggi di lingkungan oksigen sebesar $2,81 \times 10^{-2}/\Omega.m$ pada sampel 92% TiO_2 + 8% SnO_2 . Waktu respon sampel 92% TiO_2 + 8% SnO_2 pada tegangan 24 V adalah 39 s. Hasil *XRD* menunjukkan terbentuknya senyawa baru Sn_2TiO_4 . Ukuran kristal TiO_2 yang didoping 8% mol SnO_2 lebih kecil dibandingkan dengan TiO_2 tanpa doping.

DAFTAR PUSTAKA

- Basthoh, E., Karakterisasi ZnO Didoping TiO_2 untuk Detektor *LPG*, *Tesis*, Program Studi S-2 Fisika, Universitas Andalas, Padang (2013).
- Deswardani, F. dan Elvaswer, Karakterisasi Semikonduktor $\text{TiO}_2(\text{ZnO})$ Sebagai Sensor Liquefied Petroleum Gas (*LPG*), *Jurnal Fisika Unand (JIF)*, Vol.2, No.4, hal. 269-275 (2013).
- Patil, A., Dighavkar, C., dan Borse, R., Al Dopped ZnO Thick Film as CO_2 Gas Sensors, *Journal of Optoelectronics and Advenced Materials*, Vol. 13, No. 10, hal. 1331-1337 (2011).
- Putri, W., dan Elvaswer., Karakterisasi Sensor TiO_2 Didoping ZnO untuk Mendeteksi Gas Oksigen, *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol.5, No.2, hal. 122-129 (2016).
- Sharma, R. K., Mechanism in Nb Doped Titania Oxygen Gas Sensor, *Journal Sensors and Actuators*, Vol.46, hal. 194-201 (1998).
- Silver, A. T., dan Juarez, A. S., SnO_2 : Ga Thin Films As Oxygen Gas Sensor, *Materials science and Engineering*, Vol. 110, hal. 268-271 (2004).
- Yadav, B. C., Yadav, A., Shukla, T., dan Singh, S., Solid-state Titania-based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature, *Bull. Mater. Sci. Indian Academy of Sciences*, Vol. 34, No.7, hal. 1639-1644 (2011).