

## Karakterisasi Sensor TiO<sub>2</sub> Didoping ZnO untuk Mendeteksi Gas Oksigen

Wahyuni Putri\*, Elvaswer

Jurusan Fisika, Kampus Limau Manis, Universitas Andalas, Padang 25163

\*Wahyuniputri750@yahoo.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas oksigen berupa pelet dengan bahan utama TiO<sub>2</sub> didoping dengan ZnO. Pelet sensor gas oksigen dibuat dengan variasi doping ZnO (0% mol, 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol, dan 10% mol) terhadap bahan utama TiO<sub>2</sub>. Proses pembuatan sensor gas oksigen diawali dengan pencampuran bahan TiO<sub>2</sub> didoping ZnO, kalsinasi pada temperatur 800 °C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi, dan sintering pada temperatur 900 °C selama 4 jam. Sensor gas oksigen diuji pada temperatur ruang (30 °C) dengan melihat karakteristik *I-V*, nilai sensitivitas, nilai konduktivitas, waktu respon, dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik *I-V* bahwa sampel dengan penambahan bahan ZnO sebanyak 8% mol memiliki sensitivitas tertinggi dibanding sampel lainnya yaitu 2,46 pada tegangan 3 volt dan sampel yang memiliki konduktivitas tertinggi terdapat pada sampel dengan penambahan ZnO terbanyak yaitu 10% mol dengan nilai konduktivitas di lingkungan udara sebesar  $7,33 \times 10^{-3} \Omega^{-1}m^{-1}$  dan nilai konduktivitas di lingkungan oksigen sebesar  $11,79 \times 10^{-3} \Omega^{-1}m^{-1}$ . Waktu respon sampel 92% mol TiO<sub>2</sub> + 8% ZnO pada tegangan 3 volt adalah 55 s. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal 92% mol TiO<sub>2</sub> + 8% mol ZnO lebih besar dibandingkan dengan bahan TiO<sub>2</sub> murni. Pada doping TiO<sub>2</sub> + 8% ZnO telah terbentuk senyawa baru berupa Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>.

Kata kunci : karakterisasi *I-V*, konduktivitas, sensor gas oksigen, sensitivitas, TiO<sub>2</sub>(ZnO), waktu respon.

### ABSTRACT

*The characterization of oxygen gas sensor in the form of pellets with the main ingredient TiO<sub>2</sub> doped by ZnO was performed. Oxygen gas sensor pellets were made by doping (0% mol, 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol, and 10% mol) ZnO into TiO<sub>2</sub>. The preparation of oxygen gas sensor starts with the mixing of the materials, calcination at 800 °C for 4 hours, grinding, compacting and sintering at 900 °C for 4 hours. Oxygen gas sensor was tested at room temperature (30 °C) by investigating the *I-V* characteristics, sensitivity, conductivity, response time, and XRD characterization. Based on the measured *I-V* characteristics. The sample with the 8% mol ZnO addition shows the highest sensitivity. The sensitivity is 2.46 at 3 volt. The sample with the highest conductivity was found to be the sample with the addition of ZnO 10% mol. The measured conductivity in air environment is  $7.33 \times 10^{-3} \Omega^{-1} m^{-1}$  and in oxygen environment is  $11.79 \times 10^{-3} \Omega^{-1} m^{-1}$ . The response time of sample 92% mol TiO<sub>2</sub> + 8% mol ZnO at a voltage of 3 volt is 55 s. XRD results indicate that the crystal size of 92% mol TiO<sub>2</sub> + 8% mol ZnO is larger than that of TiO<sub>2</sub> material. A new compound in the form of Zn<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>, is formed when TiO<sub>2</sub> was doped with 8% mol ZnO. The formation of the new compound lowers the performance of oxygen gas sensor.*

*Keywords: conductivity, I-V Curve, oxygen gas sensor, sensitivity, TiO<sub>2</sub>(ZnO), respon time.*

## I. PENDAHULUAN

Oksigen sangat penting bagi kehidupan karena oksigen diperlukan oleh manusia, hewan dan tumbuhan dalam proses pernapasan (respirasi). Oksigen diperlukan dalam tindakan medis bagi orang yang memiliki masalah pernapasan. Oksigen juga digunakan sebagai pendukung kehidupan bagi astronot dan penyelam. Kebocoran oksigen sulit diketahui secara cepat, maka sangat dibutuhkan detektor yang dapat mendeteksinya. Salah satu alat untuk mendeteksi kebocoran gas oksigen adalah detektor gas oksigen. Penggunaan detektor gas oksigen pada rumah sakit sangat diperlukan untuk mendeteksi kebocoran gas oksigen pada tempat penyimpanan. Oksigen dideteksi menggunakan material semikonduktor yang sensitif terhadap gas oksigen dan terbuat dari bahan logam oksida.

Bahan semikonduktor metal oksida yang memiliki kemampuan sebagai sensor gas antara lain adalah TiO<sub>2</sub>, ZnO, dan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sensor gas biasanya dibuat berupa film tipis dan pelet. Pada penelitian ini detektor gas semikonduktor metal oksida dibuat dengan metode keadaan padat atau dalam bentuk pelet. Sensor keadaan padat menunjukkan kemampuan respon sensor yang cepat, penggunaan yang sederhana dan harga yang lebih murah (Patil, dkk., 2011). Bahan

logam oksida dapat mendeteksi berbagai gas karena akan bereaksi dengan gas yang dapat merubah stoikiometri bahan oksida tersebut jika menyerap ion-ion gas. Perubahan stoikiometri bahan akan mengakibatkan perubahan konduktivitas pada bahan logam oksida (Akbar, 1997).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai sensor gas oksigen menggunakan bahan titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) didoping krom (Cr) menggunakan metode *solid state reaction* oleh Sharma (1997). Hasil penelitian menunjukkan nilai sensitivitas  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan Cr adalah 2 pada temperatur 700 °C dengan waktu respon 4 s, sensitivitas yang dihasilkan menggunakan doping lebih besar dibandingkan tanpa doping. *Scanning electron microscope* (SEM) menunjukkan bahwa ukuran partikel dengan doping lebih kecil dibandingkan tanpa doping.  $\text{TiO}_2$  dikenal sebagai material metal oksida yang memiliki kemampuan sensor yang menjanjikan.  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat fisik, sifat kimia, transfer muatan, dan sifat listrik yang baik sehingga banyak digunakan dalam penelitian sensor gas (Yadav, dkk., 2011).

Kemampuan sensor gas dapat ditingkatkan dengan cara memberi bahan doping yang dapat berupa logam mulia ataupun bahan metal oksida. Menggunakan bahan logam mulia membutuhkan biaya yang lebih mahal dan cukup sulit diperoleh dibandingkan dengan bahan metal oksida. Oleh sebab itu, bahan doping yang digunakan adalah ZnO (*zinc oxide*) yang merupakan salah satu bahan metal oksida. ZnO dikenal memiliki stabilitas yang baik, sensitivitas yang tinggi, harga yang murah, sifat listrik yang dibutuhkan sebagai sensor gas, dan temperatur kerja yang sedang. Komposit ZnO( $\text{TiO}_2$ ) sebagai detektor LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) juga sudah diamati oleh Basthoh (2013). Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada pelet ZnO didoping 3%  $\text{TiO}_2$ , yaitu 3,0769. Penelitian ini masih mengamati temperatur kerja sensor di atas temperatur ruang yaitu 85 °C.

Penelitian sensor gas semikonduktor metal oksida pada temperatur kerja yang tinggi sudah banyak dikembangkan. Temperatur kerja sensor gas pada umumnya sekitar 300-450 °C (Wang, dkk., 2010). Sementara, penelitian bahan sensor gas semikonduktor metal oksida pada temperatur ruang (30 °C) masih sangat sedikit. Sensor gas yang bekerja pada temperatur ruang membutuhkan energi yang kecil untuk dapat mendeteksi gas pada suatu lingkungan, sehingga akan sangat baik apabila dapat dikembangkan bahan sensor gas yang bekerja pada temperatur ruang.

Penelitian sensor gas oksigen lainnya juga dilakukan oleh (Wang, dkk., 2014) dengan bahan  $\text{TiO}_2$  dan Pd (paladium) dalam bentuk film tipis. Penelitian ini menunjukkan bahwa sensitivitas bahan  $\text{TiO}_2$  yang dilapisi Pd meningkat sebesar 0,054 dengan deviasi  $2,56 \times 10^{-4}$ , waktu respon rata-rata adalah 52 s, hasil SEM memperlihatkan bahan  $\text{TiO}_2/\text{Pd}/\text{TiO}_2$  memiliki ukuran partikel yang lebih kecil (nanopartikel) dengan luas permukaan volume yang lebih besar dan kekasaran lebih kecil.

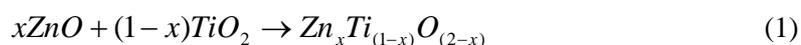
Pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi sensor gas oksigen dengan bahan dasar  $\text{TiO}_2$  doping ZnO, dibuat dengan metode keadaan padat yang berbentuk pelet. Diharapkan detektor dari bahan  $\text{TiO}_2$  didoping ZnO dapat memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas oksigen dan dapat beroperasi pada temperatur ruang.

## II. METODE

### 2.1 Persiapan Pembuatan Pelet $\text{TiO}_2$ didoping ZnO

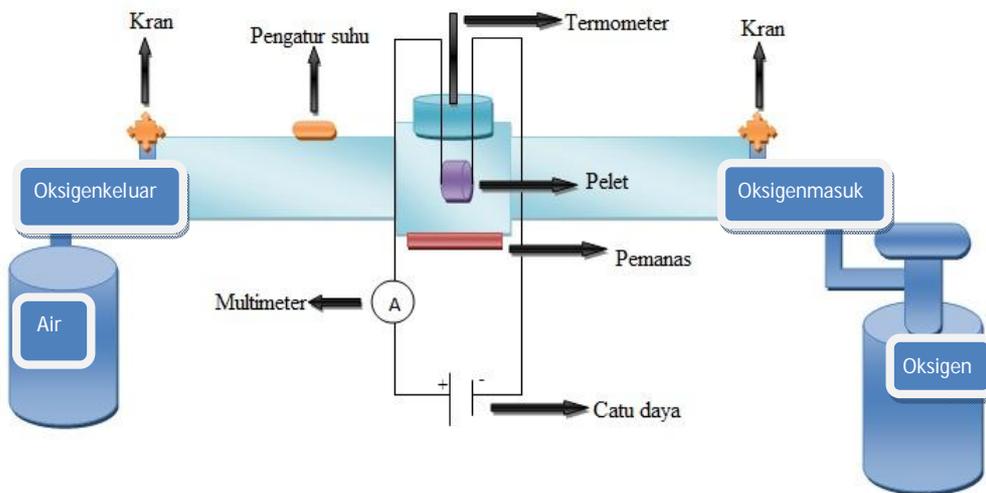
Pada penelitian ini dibuat pelet dengan enam variasi persentase doping ZnO (*merck*, 99%) yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% mol terhadap bahan dasar  $\text{TiO}_2$  (*Merck*, 99%). Ukuran sampel pelet yang diuji berdiameter 11 mm dan tebal 2 mm.

Reaksi kimia yang terjadi pada penelitian ini :



$x$  adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol. Bahan sampel digerus selama 10 menit agar homogen, kemudian dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 4 jam, kemudian bahan dikompaksi, setelah dikompaksi bahan disintering pada suhu 900 °C selama 4 jam (Deswardani, 2013).

## 2.2 Karakterisasi Sensor Gas Oksigen



**Gambar 1** Skema rangkaian alat pengujian sensor gas oksigen

Pelet yang telah disintering dikarakterisasi pengujian sensor gas oksigen, skema rangkain dapat dilihat pada Gambar 1. Skema di atas memperlihatkan alat yang pengujian berfungsi untuk mengalirkan gas oksigen. Pelet diberikan 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 kenaikan tegangan 3 V.

Pengukuran karakteristik  $I$ - $V$  akan menentukan nilai sensitivitas sensor dan nilai konduktivitas sensor. Nilai sensitivitas dan konduktivitas dapat diketahui dengan melakukan perhitungan. Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu zat. Nilai sensitivitas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

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

dengan  $I_o$  adalah arus sampel pada lingkungan oksigen dengan satuan A,  $I_u$  arus sampel pada lingkungan udara dengan satuan A dan  $S$  adalah sensitivitas. Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dari persamaan berikut :

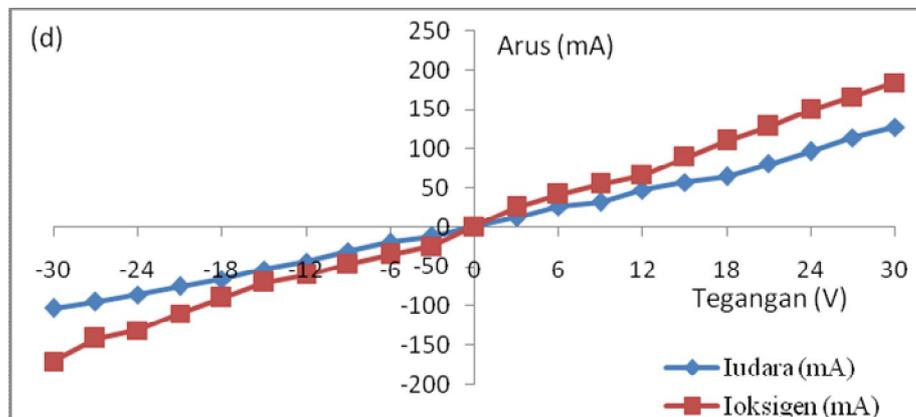
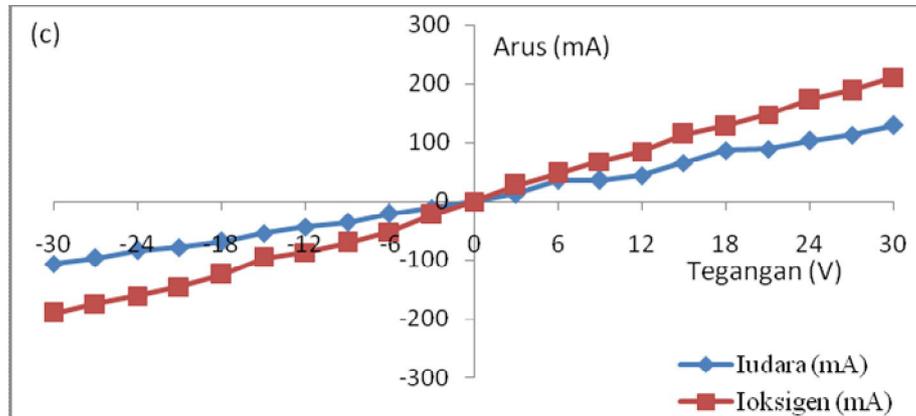
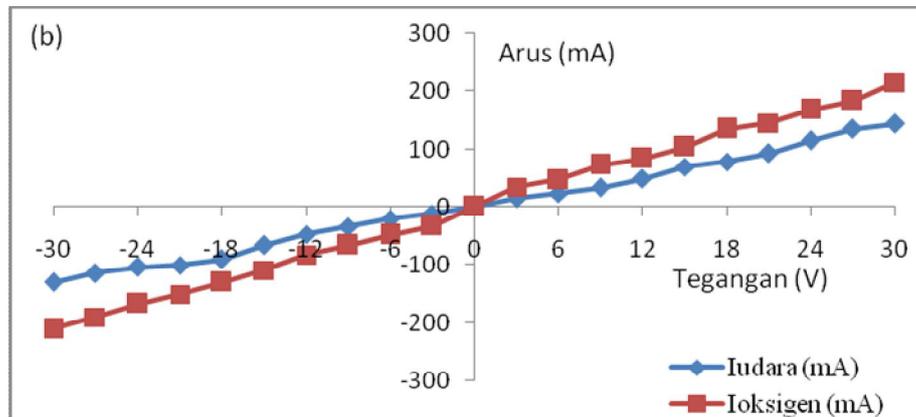
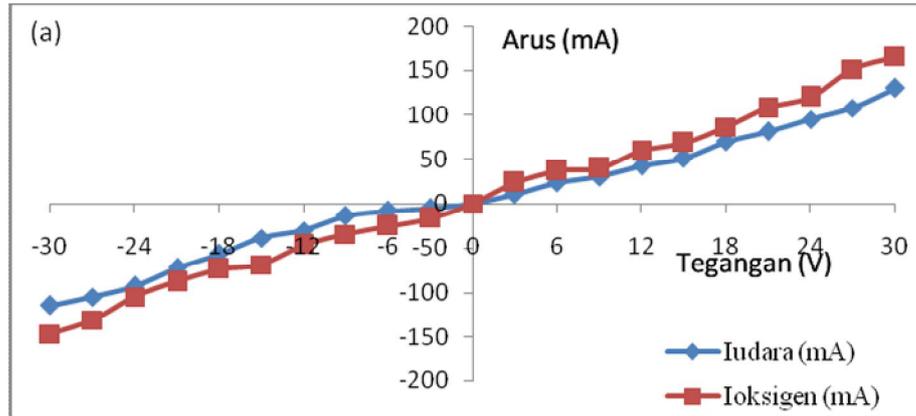
$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (3)$$

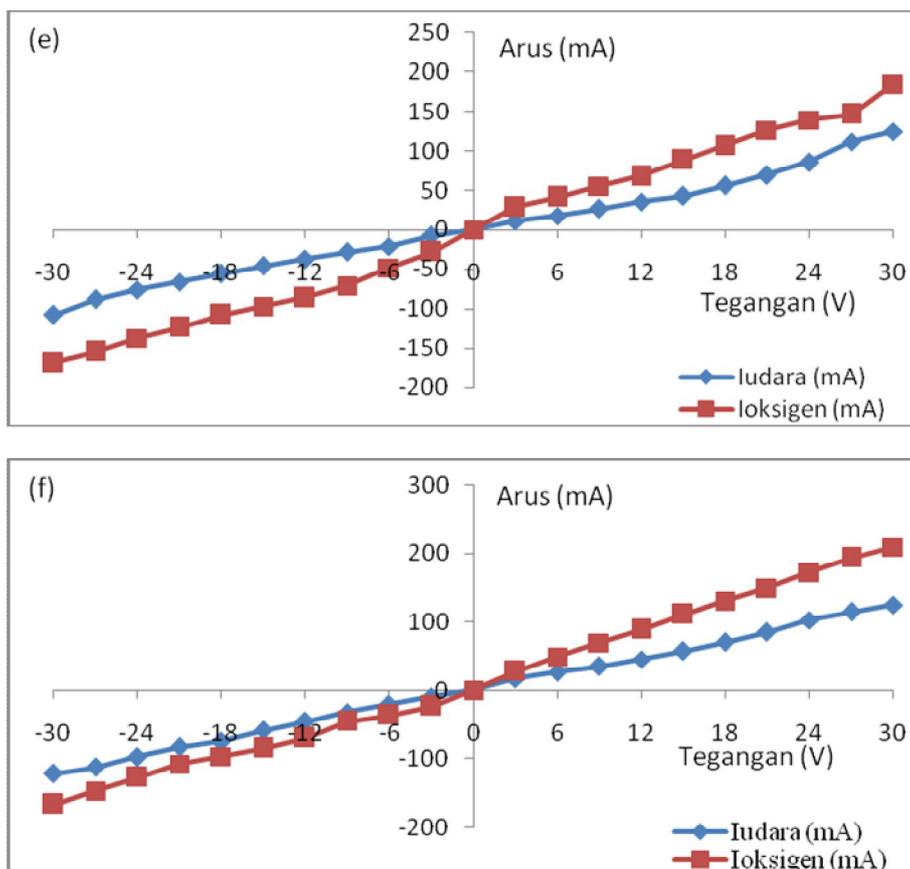
dengan  $\sigma$  adalah konduktivitas listrik ( $1/\Omega \cdot m$ ),  $R$  adalah resistansi ( $\Omega$ ),  $A$  adalah luas penampang ( $m^2$ ), dan  $L$  adalah ketebalan sampel (m).

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Karakteristik $I$ - $V$ pada Lingkungan Udara dan Oksigen

Karakteristik  $I$ - $V$  pada lingkungan udara dan lingkungan oksigen dapat diamati dengan mengukur arus dan tegangan. Karakteristik  $I$ - $V$  untuk sampel  $TiO_2$  didoping  $ZnO$  ditunjukkan pada Gambar 2.





**Gambar 2** Grafik  $I$ - $V$  sampel (a) 100% mol  $\text{TiO}_2$ , (b)  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{ZnO}$ , (c)  $\text{TiO}_2$  + 4% mol  $\text{ZnO}$ , (d)  $\text{TiO}_2$  + 6% mol  $\text{ZnO}$ , (e)  $\text{TiO}_2$  + 8% mol  $\text{ZnO}$ , dan (f)  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{ZnO}$

Gambar 2(a) menunjukkan bahwa arus pada bias maju lebih tinggi dibandingkan arus pada bias mundur. Hal ini disebabkan karena adanya pengurangan antara tegangan kontak dengan tegangan bias maju, sehingga terjadinya pengecilan daerah deplesi yang memudahkan elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi, sedangkan pada bias mundur terjadi penambahan antara tegangan kontak dengan tegangan bias mundur sehingga terjadinya pelebaran daerah deplesi. Reaksi antara oksigen dengan oksida menghasilkan satu elektron bebas yang berfungsi sebagai pembawa muatan. Persentase oksigen pada lingkungan oksigen lebih besar dibandingkan oksigen pada lingkungan udara, sehingga arus pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan dengan arus pada lingkungan udara.

Dari Gambar 2 (b), (c), (d), (e) dan (f) dapat dilihat bahwa arus pada lingkungan oksigen dan lingkungan udara meningkat dibandingkan arus pada sampel 100% mol  $\text{TiO}_2$  Gambar 2(a). Hal ini disebabkan karena pemberian doping  $\text{ZnO}$  pada  $\text{TiO}_2$  akan memperkecil energi gap yang memudahkan elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Arus pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara. Hal disebabkan terjadinya reaksi antara oksigen dengan oksida sehingga menurunkan daerah deplesi yang mengakibatkan mudahnya elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi.

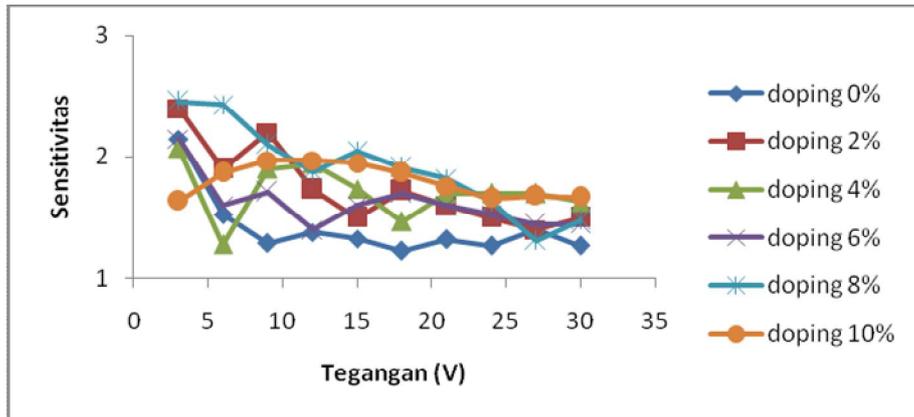
Dari keenam grafik didapatkan nilai sensitivitas tertinggi pada grafik 2(e) yaitu  $\text{TiO}_2$  didoping 8%  $\text{ZnO}$  pada teganan 3 volt. Hal ini disebabkan oleh doping 8% mol  $\text{ZnO}$  adalah optimum untuk mengecilkan daerah deplesi sehingga elektron mudah melompat. Disamping itu terjadi reaksi optimum antara oksigen dengan oksida yang dapat menurunkan daerah deplesi sehingga elektron dapat melompat dari pita valensi ke pita konduksi.

Pebandingan arus pada lingkungan udara dengan lingkungan oksigen paling tinggi pada tegangan 9 volt dapat dilihat pada Gambar 2(f). Jika dibandingkan dengan seluruh sampel maka perbandingan arus pada lingkungan oksigen dengan lingkungan udara sampel  $\text{TiO}_2$  didoping

10% mol ZnO adalah yang terkecil. Hal ini disebabkan karena doping yang berlebihan dapat menurunkan daerah deplesi, karena terjadinya hubungan antar muka ZnO dengan ZnO sehingga akan mengurangi reaksi kimia antara oksigen dengan oksida.

**3.2 Karakteristik Sensitivitas**

Sensitivitas sensor oksigen berbasis pelet TiO<sub>2</sub> didoping ZnO dapat diketahui berdasarkan karakteristik I-V yang telah diperoleh sebelumnya. Perubahan sensitivitas keenam sampel dapat dilihat pada Gambar 3.

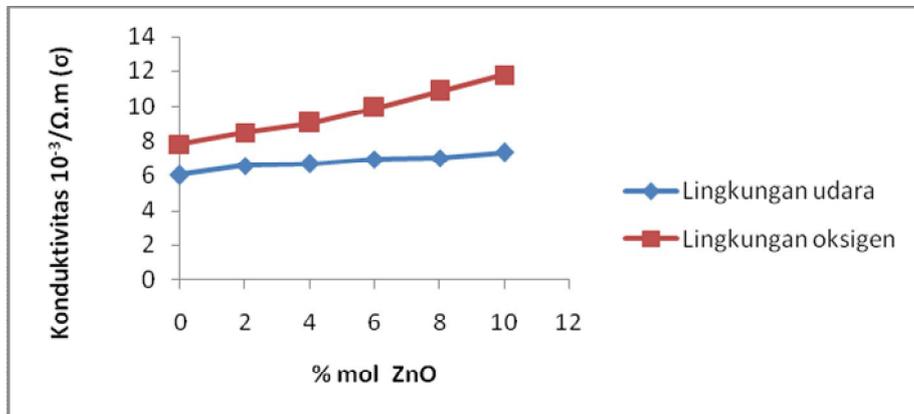


Gambar 3 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

Sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan 8% mol ZnO yaitu 2,46 pada tegangan 3 volt. Hal ini disebabkan oleh TiO<sub>2</sub> didoping ZnO yang paling optimum. Sampel TiO<sub>2</sub> didoping 8% mol ZnO dapat menurunkan daerah deplesi yang mengakibatkan mudahnya elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi. TiO<sub>2</sub> didoping dengan 8% mol ZnO untuk memperbanyak hubungan antar muka TiO<sub>2</sub> dengan ZnO sehingga pada lingkungan oksigen banyak terjadinya reaksi oksigen dengan oksida. Sedangkan sensitivitas yang rendah didapatkan pada sampel TiO<sub>2</sub> didoping 10% mol ZnO. Hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan mengakibatkan hubungan antar muka ZnO dengan ZnO yang mengakibatkan reaksi oksigen dengan oksida mengecil.

**3.3 Nilai Konduktivitas Sampel di Lingkungan Udara dan Oksigen**

Nilai konduktivitas masing-masing sampel pelet dengan bahan TiO<sub>2</sub> didoping ZnO ini dapat diketahui dengan menunjukkan perbedaan nilai konduktivitas sampel sebelum dan sesudah dialiri oksigen. Perubahan konduktivitas pada lingkungan udara dan di lingkungan oksigen.

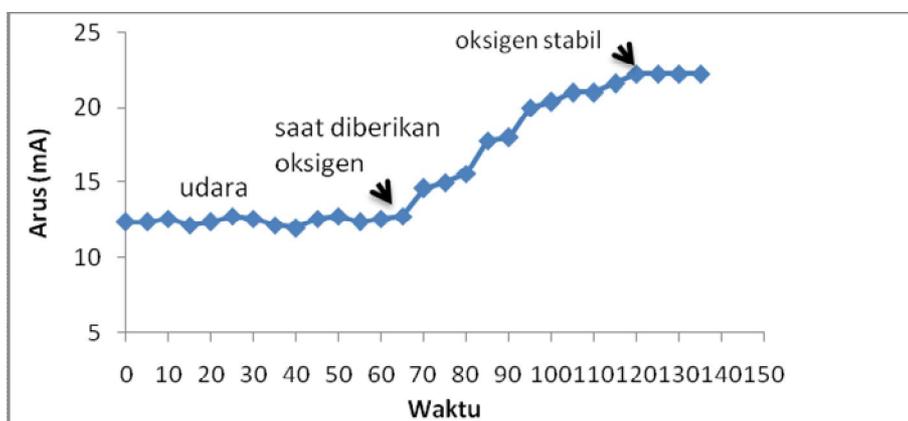


Gambar 4 Grafik konduktivitas terhadap doping % mol ZnO

Konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan udara. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi antara oksigen dengan oksida, reaksi tersebut dapat menurunkan daerah deplesi dimana memudahkan elektron untuk melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Konduktivitas juga meningkat dengan penambahan doping % mol ZnO, hal ini disebabkan oleh penambahan doping dapat menurunkan daerah deplesi. Penurunan daerah deplesi dapat memudahkan elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Konduktivitas tertinggi terdapat pada sampel  $\text{TiO}_2$  didoping 10% mol ZnO dibandingkan dengan konduktivitas  $\text{TiO}_2$  tanpa doping.

### 3.4 Karakteristik Waktu Respon

Waktu respon merupakan salah satu parameter kinerja penting, dengan mengukur waktu respon dapat diketahui kemampuan sensor gas dalam mendeteksi gas tertentu di sekitarnya. Waktu respon diukur pada sampel yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu sampel  $\text{TiO}_2 + 8\%$  ZnO dengan tegangan 3 volt. Waktu respon sampel  $\text{TiO}_2 + 8\%$  ZnO pada tegangan 3 volt adalah 55 s ditunjukkan pada Gambar 5.

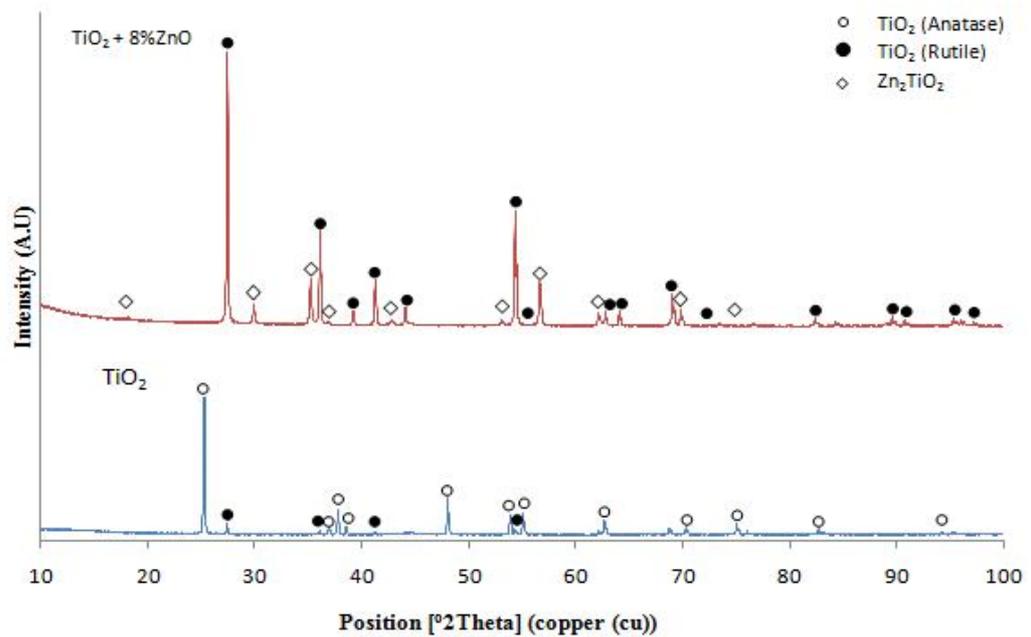


Gambar 5 Waktu Respon sampel  $\text{TiO}_2 + 8\%$  ZnO pada Tegangan 3 volt

Pengukuran waktu respon pada sampel dilakukan tiap 5 s di udara. Setelah dilakukan di udara, dilanjutkan dengan mengaliri gas oksigen dengan cara yang sama seperti yang dilakukan di udara sampai didapatkan arus yang stabil. Sampel sebelumnya dibiarkan pada lingkungan udara hingga arus stabil selama 60 s, kemudian oksigen langsung dialirkan ke sampel. Setelah diberikan oksigen, terjadi kenaikan arus secara bertahap hingga pada detik ke 120 s arus menjadi stabil. Waktu respon yang diperoleh pada sampel yaitu 55 s. Waktu respon sampel  $\text{TiO}_2$  didoping 8% mol ZnO pada penelitian ini masih lebih lama dibandingkan penelitian sebelumnya oleh Wang, dkk (2014) yang mengamati kemampuan sensor gas oksigen dengan bahan  $\text{TiO}_2$  didoping Pd dengan film tipis memiliki waktu respon 52 s.

### 3.5 Analisis Karakterisasi XRD

Pola difraksi sinar-X (XRD) akan memperlihatkan ukuran kristal. Karakterisasi XRD telah dilakukan pada 2 sampel, yaitu pada sampel 100% mol  $\text{TiO}_2$  dan sampel dengan sensitivitas tertinggi  $\text{TiO}_2 + 8\%$  mol ZnO. Pola difraksi sinar-X kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6** Pola difraksi sinar-X pada sampel 100% mol  $\text{TiO}_2$  dan sampel  $\text{TiO}_2 + 8\%$  mol  $\text{ZnO}$

Pola difraksi standar (JCPDS) untuk  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  menjadi acuan untuk menetapkan puncak-puncak yang muncul pada pola difraksi. Hasil XRD menunjukkan bahwa pada  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan  $\text{ZnO}$  dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  tanpa doping didapatkan puncak-puncak baru yaitu  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  dan  $\text{TiO}_2$  rutil. Munculnya puncak baru menandakan terbentuknya senyawa yang baru yaitu  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$ . Pada pola difraksi  $\text{TiO}_2$  tanpa doping terdapat dua bentuk  $\text{TiO}_2$ , yaitu bentuk *anatase* dan bentuk *rutil*. Bentuk *anatase* mendominasi puncak-puncak kristal yang muncul pada sampel ini. Setelah didoping terjadi perubahan struktur kristal  $\text{TiO}_2$  dari bentuk *anatase* menjadi bentuk *rutil*. Struktur *rutil* merupakan struktur  $\text{TiO}_2$  yang paling stabil (Yadav, 2011).

Doping  $\text{ZnO}$  yang diberikan terhadap bahan  $\text{TiO}_2$  telah mempengaruhi ukuran kristal sampel. Pengukuran ukuran kristal pada kedua sampel dengan metode Scherrer, ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  dengan puncak FWHM yaitu  $0,1279$  dengan sudut  $2\theta$  yaitu  $25,2901^\circ$  adalah  $129,38$  nm. Ukuran kristal sampel  $\text{TiO}_2$  didoping  $8\%$  mol  $\text{ZnO}$  dengan puncak FWHM  $0,1181$  dengan sudut  $2\theta$  yaitu  $27,4456^\circ$  adalah  $138,57$  nm. Hal ini disebabkan karena tidak terjadinya penumbuhan, melainkan terbentuknya senyawa baru berupa  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  dengan sistem kristal kubik dengan penambahan doping, sedangkan bentuk  $\text{TiO}_2$  masih dominan dengan sistem kristal tetragonal.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor sudah mampu membedakan kondisi lingkungan udara dengan lingkungan oksigen. Nilai Sensitivitas tertinggi diperoleh pada bahan  $92\%$  mol  $\text{TiO}_2$  didoping  $8\%$  mol  $\text{ZnO}$  sebesar  $2,46$ . Konduktivitas tertinggi terdapat pada pelet  $\text{TiO}_2$  didoping  $\text{ZnO}$  dibandingkan dengan konduktivitas  $\text{TiO}_2$  tanpa doping. Konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan udara. Konduktivitas tertinggi dimiliki oleh sampel  $\text{TiO}_2$  didoping  $10\%$  mol  $\text{ZnO}$  pada lingkungan oksigen yaitu  $11,79 \times 10^{-3} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ . Waktu respon sampel  $\text{TiO}_2 + 8\%$   $\text{ZnO}$  pada tegangan  $3$  volt adalah  $55$  s. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya senyawa yang baru yaitu  $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$  dan berubahnya struktur kristal  $\text{TiO}_2$  dari anatase menjadi rutil. Ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  didoping  $\text{ZnO}$  lebih besar dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  tanpa doping.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Akbar, A.S., Journal Electrochemistry Society. **144**, hal. 1750-1753 (1997).
- Basthoh, E., "Karakterisasi ZnO Didoping TiO<sub>2</sub> untuk Detektor LPG, Tesis S2, Universitas Andalas, 2013.
- Deswardani, F., "Karakterisasi Sensor Gas LPG (Liquefied Petroleum Gas) dari Bahan Komposit Semikonduktor TiO<sub>2</sub>(ZnO)", Skripsi S1, Universitas Andalas, 2013.
- Patil, A., Dighavkar, C., dan Borse, R., Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, **13**, hal. 1331-1337 (2011).
- Sharma, R.K., International Journal of Pharmaceutics, **45**, hal. 209-215 (1997).
- Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., dan Gao, R., Journal Sensors, **10**, hal. 2088-2106 (2010).
- Wang, H., Chen, L., Wang, J., Sun, Q., dan Zhao, Y., Journal Sensor, **15**, hal. 16423-16433 (2014).
- Yadav, B. C., Yadav, A., Shukla, T., dan Singh, S., Bull. Mater. Sci. **34**, hal. 1639-1644 (2011).