

## Karakteristik *I-V* Heterokontak $\text{TiO}_2(\text{CuO})/\text{ZnO}(\text{TiO}_2)$ sebagai Sensor Gas Oksigen

Prima Ade Md\*, Elvaswer

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas

Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163

\*ade\_fisika@yahoo.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas oksigen berupa pelet heterokontak, dengan lapisan pertama pelet adalah  $\text{TiO}_2$  didoping 0% mol, 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol, 10% mol CuO dan lapisan kedua pelet adalah 50% mol ZnO dicampur 50% mol  $\text{TiO}_2$ . Proses pembuatan sensor terdiri dari pencampuran bahan, kalsinasi pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam, kompaksi, sintering pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Sensor oksigen diuji pada temperatur ruang ( $30^\circ\text{C}$ ) dengan melihat karakteristik *I-V*, sensitivitas, konduktivitas, waktu respon dan karakterisasi XRD. Sensitivitas tertinggi dimiliki oleh sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$  yaitu 2,48 pada tegangan 25 volt dengan waktu respon 51 detik. Konduktivitas tertinggi dimiliki oleh sampel 90% mol  $\text{TiO}_2$  + 10% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$  yaitu  $2,31 \cdot 10^{-3}/\Omega.m$  ( $\sigma$ ). Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$  lebih besar dari pada sampel 100% mol  $\text{TiO}_2$  + 0% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$ . Pada  $\text{TiO}_2$  yang didoping 2% mol CuO telah terbentuk senyawa baru  $\text{CuO.TiO}_2$ .

Kata kunci : Sensor oksigen,  $\text{TiO}_2(\text{CuO})/\text{ZnO}(\text{TiO}_2)$ , karakteristik *I-V*, sensitivitas, konduktivitas, waktu respon, karakterisasi XRD.

### ABSTRACT

Oxygen sensor characterization has been done in the form of heterocontact pellet, The first layer of the sensor is  $\text{TiO}_2$  doped by 0% mol, 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol, 10% mol CuO and the second layer doped 50% mol ZnO mixed 50% mol  $\text{TiO}_2$ . The process of making sensor are mixing of materials, calcination at  $500^\circ\text{C}$  for 4 hours, compacting and sintering at  $700^\circ\text{C}$  for 4 hours. Oxygen sensor are tested at room temperature ( $30^\circ\text{C}$ ) by the characteristics of *I-V*, sensitivity, conductivity, response time and XRD characterization. The highest sensitivity value held by sample 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$  at 2,48 at a voltage of 25 volt with a response time is 51 second. The highest conductivity value held by sample 90% mol  $\text{TiO}_2$  + 10% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$  at  $2,31 \cdot 10^{-3}/\Omega.m$  ( $\sigma$ ). XRD result shows the crystal size of sample 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$  greater than sample 100% mol  $\text{TiO}_2$  + 0% mol CuO/50% mol ZnO + 50% mol  $\text{TiO}_2$ . At doping  $\text{TiO}_2$  doped 2% mol CuO has a new compound is  $\text{CuO.TiO}_2$ .

Keywords: oxygen sensor,  $\text{TiO}_2(\text{CuO})/\text{ZnO}(\text{TiO}_2)$ , characteristics of *I-V*, sensitivity, conductivity, response time, XRD characterization

## I. PENDAHULUAN

Oksigen merupakan salah satu komponen terpenting untuk kelangsungan hidup manusia. Atmosfer bumi terdiri dari 20,95% gas oksigen, jumlah ini merupakan terbanyak kedua setelah nitrogen 78,08%. Oksigen berasal dari fotosintesis tumbuhan darat dan organisme di laut. Disamping keberadaan oksigen yang bebas di alam, oksigen juga dimanfaatkan untuk bahan bakar roket, ekspedisi luar angkasa, keperluan industri dan keperluan medis di rumah sakit. Oksigen dikemas dalam tabung-tabung yang terbuat dari baja dan disimpan di ruangan khusus. Tabung berisi oksigen memiliki tekanan yang tinggi sehingga berbahaya jika terjadi kebocoran. Kebocoran tersebut dapat memicu kebakaran bahkan ledakan yang dapat mengancam keselamatan orang di sekitar tempat penyimpanan oksigen. Oksigen merupakan gas yang mudah terbakar karena sifatnya yang reaktif, oksigen juga tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa sehingga sulit untuk mengetahui bahwa telah terjadi kebocoran.

Untuk mengetahui apabila ada kebocoran oksigen di tempat-tempat penyimpanan, maka dibutuhkan sensor yang dapat mendeteksi kebocoran tersebut. Sensor gas telah banyak dikembangkan dengan menggunakan bahan semikonduktor logam oksida seperti  $\text{TiO}_2$ , ZnO, CuO. Kelebihan sensor gas dengan bahan semikonduktor logam oksida adalah biaya yang diperlukan lebih murah dan dapat dibuat dengan metode sederhana.

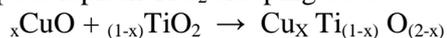
Bahan TiO<sub>2</sub> memiliki beberapa kelebihan diantaranya harga yang relatif murah, tidak beracun dan memiliki stabilitas termal yang cukup baik. Bahan TiO<sub>2</sub> memiliki sifat permukaan yang mudah bereaksi secara kimia dan sifat listrik yang baik sehingga banyak digunakan dalam penelitian sensor gas. Bahan CuO merupakan bahan yang akan digunakan sebagai pendoping TiO<sub>2</sub>. Bahan CuO memiliki sifat serapan gas yang cukup baik, dan sifat kimia yang sesuai untuk aplikasi katalis dan sensor gas (Wismadi, 2001). Bahan ZnO juga memiliki stabilitas termal yang baik, sensitivitas yang tinggi, temperatur kerja yang sedang dan memiliki sifat listrik yang dibutuhkan dalam pembuatan sensor gas (Yadav, 2012).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai sensor gas oksigen menggunakan bahan TiO<sub>2</sub> didoping nobium (Nb) dengan metode *solid state reaction* oleh Sharma dkk (1998). Hasil penelitian menunjukkan nilai sensitivitas TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan Nb adalah 3 pada temperatur 400°C. Sensitivitas yang dihasilkan dengan doping lebih besar dibandingkan tanpa doping. Penelitian sensor gas oksigen juga telah dilakukan oleh Ramli (2016) menggunakan bahan TiO<sub>2</sub> didoping dengan CuO dengan metoda reaksi dalam keadaan padat. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu nilai konduktivitas tertinggi sebesar 1,69 pada sampel 90% mol TiO<sub>2</sub> dengan waktu respon 55 detik. Penelitian sensor gas oksigen lainnya juga dilakukan oleh Wang dkk (2014) menggunakan TiO<sub>2</sub> dan Pd dengan metoda film tipis. Hasil penelitian menunjukkan nilai sensitivitas meningkat pada bahan TiO<sub>2</sub> yang dilapisi dengan Pd. Deswardani (2013) juga telah melakukan penelitian tentang karakterisasi sensor gas LPG dengan menggunakan bahan TiO<sub>2</sub> didoping dengan ZnO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensitivitas bahan TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan ZnO lebih tinggi dibandingkan TiO<sub>2</sub> tanpa doping. Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel TiO<sub>2</sub> + 10% ZnO yaitu 10 (Deswardani, 2013). Penelitian ini membuat dan mengkarakterisasi sensor dari bahan semikonduktor heterokontak TiO<sub>2</sub>(CuO)/ZnO(TiO<sub>2</sub>) untuk meningkatkan sensitivitas terhadap gas oksigen.

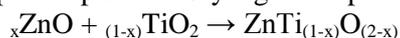
## II. METODE

### 2.1 Pembuatan Pelet

Dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi *I-V* bahan semikonduktor heterokontak TiO<sub>2</sub>(CuO)/ZnO(TiO<sub>2</sub>). Pada lapisan pertama sampel dibuat dengan lima macam persentase CuO, yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% mol terhadap bahan dasar TiO<sub>2</sub>. Berikut reaksi yang terjadi pada lapisan TiO<sub>2</sub> didoping CuO :



Dengan  $x$  adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol. Pada lapisan kedua sampel dibuat dengan 50% mol ZnO dicampur dengan 50% mol TiO<sub>2</sub>. Berikut reaksi yang terjadi pada lapisan ZnO yang dicampur TiO<sub>2</sub> :



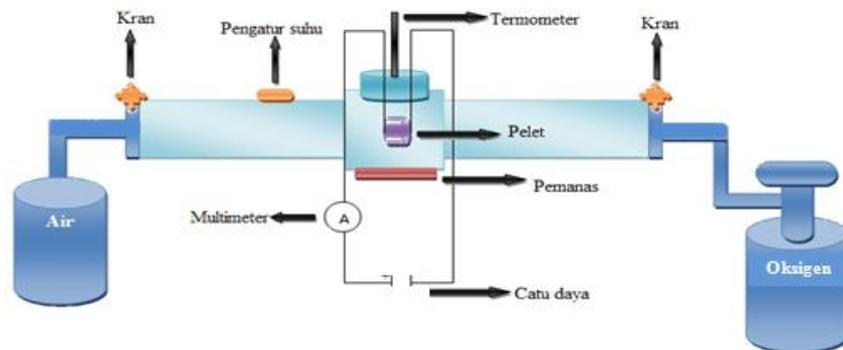
Bahan sampel digerus selama lebih kurang 1 jam supaya sampel menjadi homogen, kemudian dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi, sampel dikompaksi sehingga berbentuk pelet. Kemudian pelet disintering pada suhu 700°C selama 4 jam. Pada saat *sintering* inilah terjadi reaksi dalam keadaan padat (*solid state reaction*).

### 2.2 Karakteristik *I-V*

Pengukuran nilai *I-V* untuk bias maju dilakukan dengan salah satu bagian elektroda sampel dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan yang lainnya dihubungkan dengan kutub negatif, dan untuk bias mundur polaritasnya dibalik. Lingkungan diatur pada temperatur ruang, baik pada lingkungan udara maupun oksigen. Pengukuran lebih dulu dilakukan pada lingkungan udara, kedua ujung pipa tidak dihubungkan dengan selang dan kran dibiarkan terbuka. Setelah semua persiapan dilakukan, sampel dirangkai bias maju kemudian dilanjutkan dengan bias mundur. Tegangan divariasikan mulai dari -30 Volt sampai 30 Volt. Dimulai dari 0 Volt kemudian dilanjutkan dengan interval 5 Volt.

Pengukuran kemudian dilakukan di lingkungan oksigen, kedua ujung pipa dihubungkan dengan selang hingga oksigen dapat mengalir melewati sampel yang dipasang pada pegangan sampel. Rangkaian sampel dilakukan sama dengan rangkaian pada pengukuran di lingkungan

udara dan besar tegangan yang diberikan juga sama. Rangkaian alat untuk pengukuran karakteristik  $I-V$  dapat dilihat pada Gambar 1.



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

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 Persamaan 1.

$$S = \frac{I_{Udara}}{I_{LPG}} \quad (1)$$

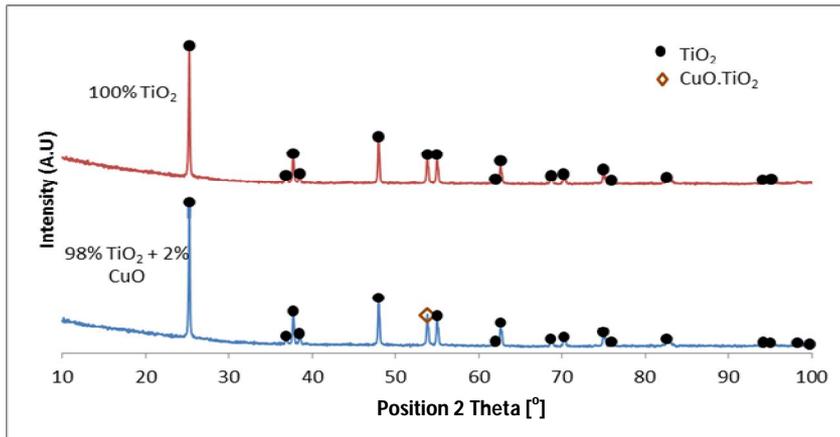
Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dari Persamaan 2.

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (2)$$

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Analisis Karakterisasi XRD

Karakteristik XRD pada penelitian ini dilakukan pada 100% mol  $\text{TiO}_2$  dan 98% mol  $\text{TiO}_2 + 2\%$  mol  $\text{CuO}$  yang memiliki sensitivitas tertinggi. Karakterisasi XRD yang dilakukan pada kedua sampel yang dikalsin pada suhu  $500^\circ\text{C}$  tersebut untuk mengetahui perbandingan struktur kristal antara  $\text{TiO}_2$  murni dengan  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan  $\text{CuO}$ , untuk melihat perubahan struktur kristal dan senyawa baru yang muncul pada sampel yang diberi doping. Efek doping 2% mol  $\text{CuO}$  adalah munculnya senyawa baru yang ditandai dengan munculnya puncak baru yaitu  $\text{CuO} \cdot \text{TiO}_2$ . Hal ini menunjukkan bahwa doping 2% mol  $\text{CuO}$  sudah mampu larut ke dalam  $\text{TiO}_2$ .

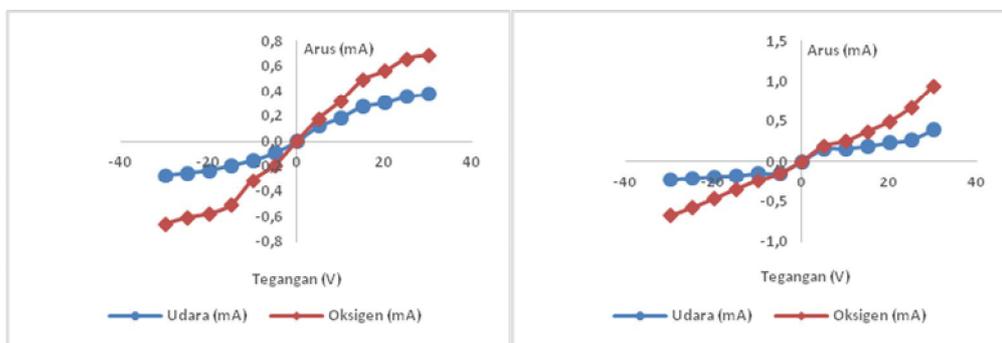


Gambar 2 Pola difraksi XRD

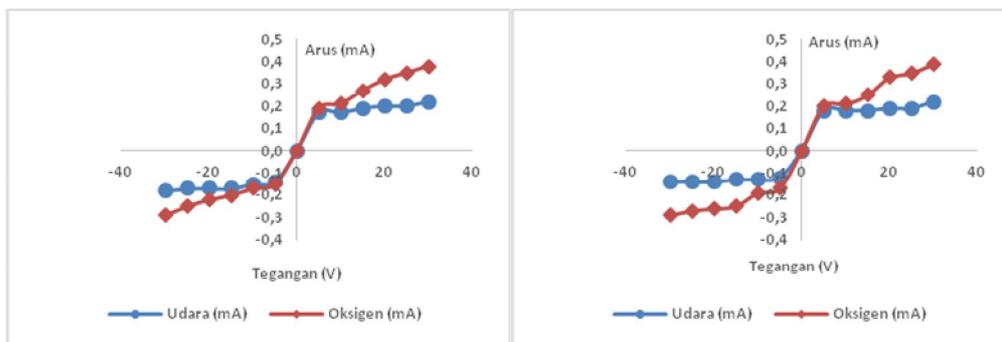
Pemberian doping mempengaruhi ukuran kristal. Berdasarkan data yang didapat dari karakterisasi XRD, ukuran kristal pada bahan 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO pada intensitas tertinggi adalah 129,17 nm. Sedangkan ukuran kristal pada bahan 100%  $\text{TiO}_2$  pada intensitas tertinggi adalah 109,31 nm. Ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan CuO menjadi lebih besar, hal ini disebabkan oleh peristiwa pertumbuhan kristal tidak terjadi pada temperatur kalsin  $500^\circ\text{C}$ .

### 3.2 Karakteristik I-V Sampel

Grafik karakteristik I-V yang menunjukkan perbedaan nilai arus dan tegangan pada lingkungan udara dan lingkungan oksigen ditunjukkan pada Gambar 3. Grafik I-V pada Gambar 3 menunjukkan bahwa arus pada bias maju lebih tinggi dibandingkan bias mundur. Hal ini disebabkan oleh daerah deplesi pada sambungan heterokontak mengecil pada bias maju. Sehingga memudahkan elektron untuk berpindah dari tipe-n ke tipe-p yang mengakibatkan penguatan pada bias maju.

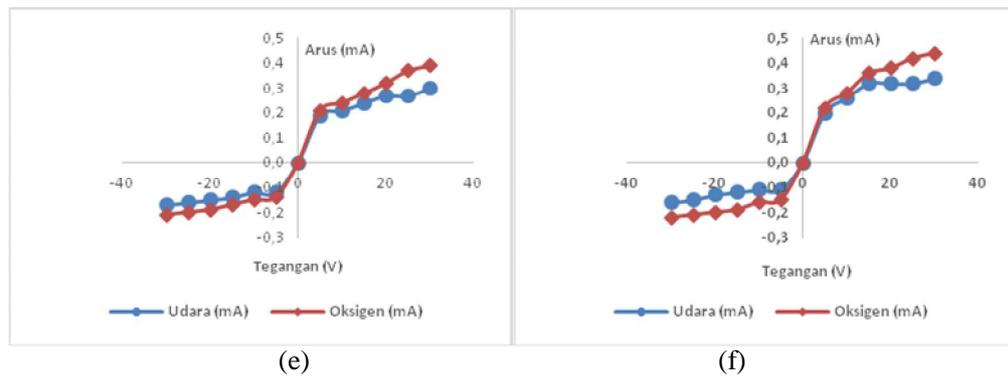


(b)



(c)

(d)



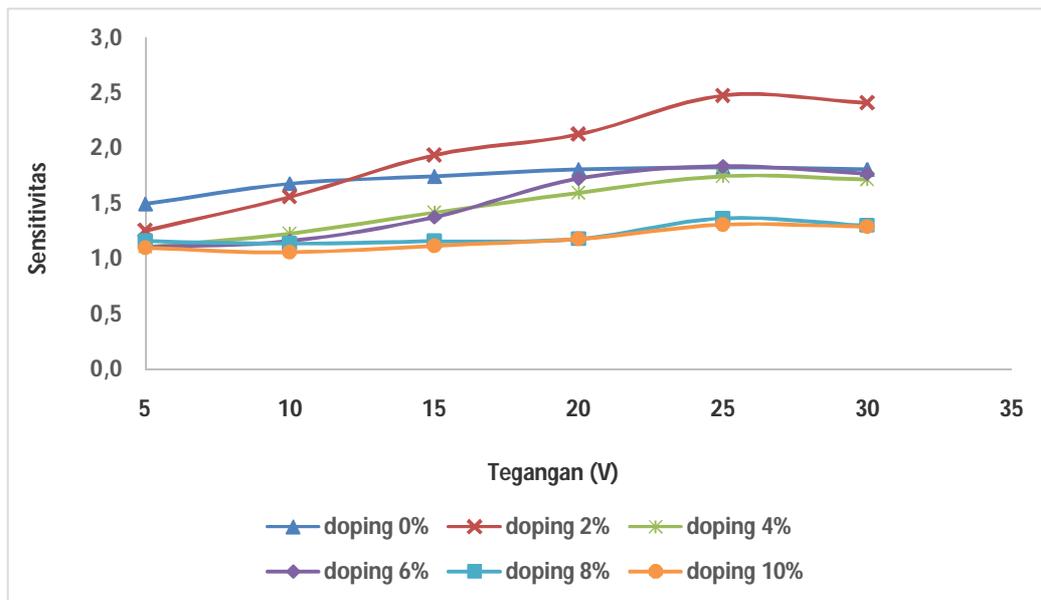
**Gambar 3** Karakteristik  $I$ - $V$  di lingkungan udara dan oksigen pada sampel (a) 100  $\text{TiO}_2$  (b) 98%  $\text{TiO}_2$  (c) 96%  $\text{TiO}_2$  (d) 94%  $\text{TiO}_2$  (e) 92%  $\text{TiO}_2$  (f) 90%  $\text{TiO}_2$

Gambar 3 bagian (b) menunjukkan bahwa karakteristik  $I$ - $V$  sebagai penguat paling tinggi pada bias maju, yaitu 0,94 mA di lingkungan oksigen dan 0,39 mA di lingkungan udara pada tegangan 30 Volt. Hal ini disebabkan reaksi antara oksigen dengan oksida dapat memperkecil daerah deplesi pada sambungan heterokontak. Gambar 3 juga menunjukkan bahwa arus pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara, hal ini disebabkan oleh reaksi oksigen dengan oksida dapat memperkecil daerah deplesi antara partikel maupun pada sambungan heterokontak.

Rasio antara arus pada lingkungan oksigen dengan arus pada lingkungan udara yang paling tinggi diperlihatkan oleh Gambar 3 (b), hal ini disebabkan oleh efek doping 2% mol CuO terhadap  $\text{TiO}_2$  dapat menurunkan energi gap yang paling kecil sehingga memudahkan elektron mengalir dari tipe-n ke tipe-p. Apabila doping ditingkatkan seperti pada Gambar 3 (c),(d),(e), dan(f) maka rasio arus di lingkungan oksigen dengan di lingkungan udara menurun. Hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan akan mengakibatkan elektron overlap dan saling meniadakan.

### 3.3 Karakteristik Sensitivitas

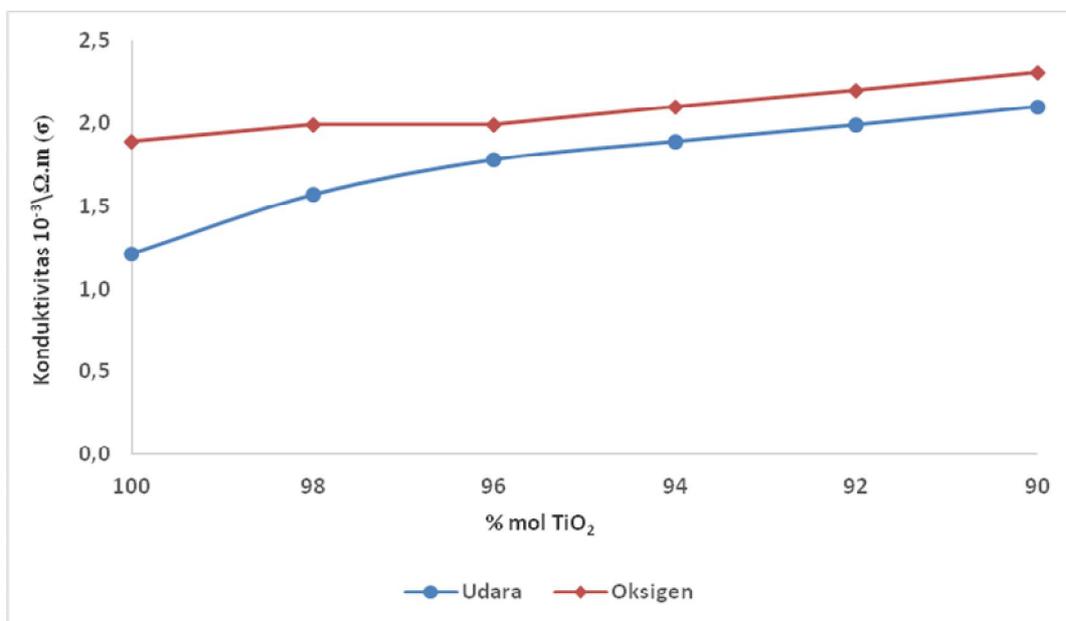
Berdasarkan karakteristik  $I$ - $V$  maka didapatkan grafik perubahan nilai sensitivitas terhadap tegangan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Terbentuknya senyawa yang baru CuO. $\text{TiO}_2$  seperti yang diperlihatkan oleh hasil XRD juga berkontribusi mempercepat reaksi antara oksigen dengan oksida. Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan 2% mol CuO. Nilai sensitivitas tertinggi pada sampel  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan 2% mol CuO yaitu 2,48 pada tegangan 25 Volt.



Gambar 4 Grafik perubahan nilai sensitivitas

### 3.4 Karakteristik Konduktivitas

Konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan udara. Hal ini terjadi karena reaksi antara oksigen dan oksida pada permukaan partikel dapat lebih banyak terjadi pada lingkungan oksigen yang mengecilkan daerah deplesi. Konduktivitas tertinggi terdapat pada sampel 90% mol TiO<sub>2</sub>. Hal ini terjadi karena penambahan jumlah doping dapat menurunkan energi gap dan elektron akan mudah melewatinya. Grafik hasil penghitungan konduktivitas dapat dilihat pada Gambar 5.

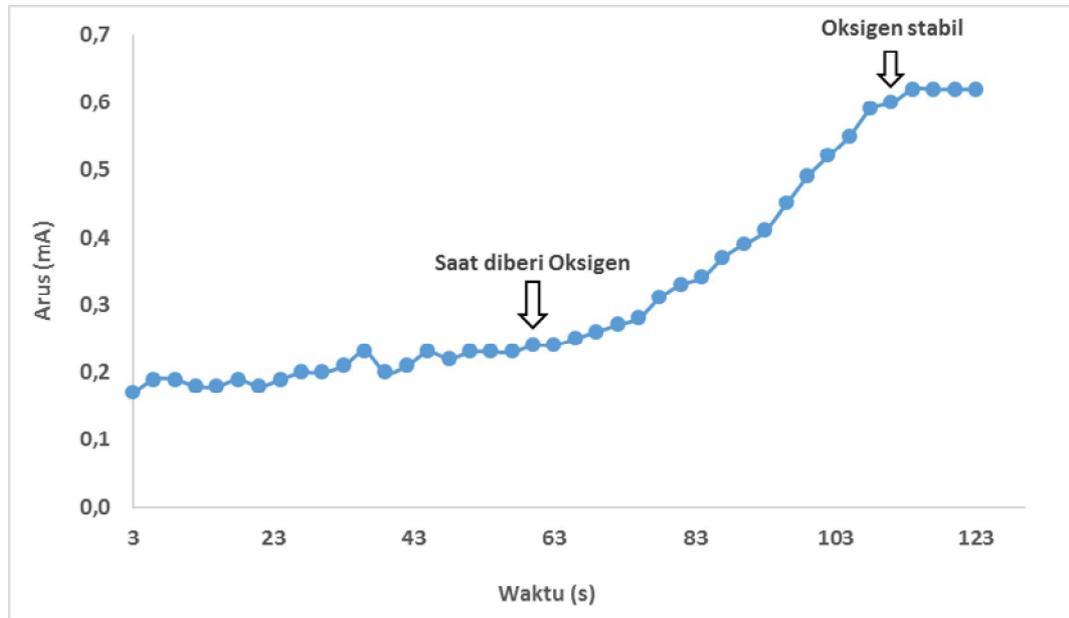


Gambar 5 Grafik perubahan nilai konduktivitas

### 3.5 Karakteristik Waktu Respon

Waktu respon diambil dari sampel yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu pada sampel 98% mol TiO<sub>2</sub> didoping 2% mol CuO pada tegangan 25 Volt. Grafik hasil pengukuran waktu respon dapat dilihat pada Gambar 6.

Sampel berada di lingkungan udara sampai kuat arus stabil, kuat arus mulai stabil dari detik ke-51 sampai detik ke-60. Oksigen dialirkan dan terjadi peningkatan kuat arus. Sampel dibiarkan sampai kuat arus stabil pada detik ke-111. Nilai waktu respon diambil dari awal perubahan nilai arus ketika oksigen dialirkan sampai kuat arus pada lingkungan oksigen stabil. Dari hasil pengukuran didapat waktu respon 51 detik. Waktu respon sangat ditentukan oleh cepat atau lambatnya reaksi yang terjadi antara gas oksigen dengan oksida.



**Gambar 6** Grafik pengukuran waktu respon

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sensor telah mampu membedakan kondisi lingkungan udara dengan lingkungan oksigen. Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol  $\text{CuO}$ /50% mol  $\text{ZnO}$  + 50% mol  $\text{TiO}_2$  yaitu 2,48. Konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan konduktivitas pada lingkungan udara. Konduktivitas tertinggi terdapat pada sampel 90% mol  $\text{TiO}_2$  + 10% mol  $\text{CuO}$ /50% mol  $\text{ZnO}$  + 50% mol  $\text{TiO}_2$  yaitu  $2,31 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$  pada tegangan 25 volt. Waktu respon yang didapat dari pengukuran yaitu 51 detik pada tegangan 25 volt. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan terbentuknya senyawa baru  $\text{CuO} \cdot \text{TiO}_2$ . Ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  murni lebih kecil dibandingkan  $\text{TiO}_2$  yang didoping 2% mol  $\text{CuO}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Deswardani, F., 2013, Karakterisasi Semikonduktor  $\text{TiO}_2(\text{ZnO})$  Sebagai Sensor Liquefied Petroleum Gas (LPG), *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol.2, No.4, Jur. Fisika Unand.
- Ramli, P., 2016, Detektor Gas Oksigen dari Bahan Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  Doping  $\text{CuO}$ , *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol.8, No.1, Jur. Fisika Unand.
- Sharma, R.K., 1998, *Mechanism in Nb doped titania oxygen gas sensor*, *Journal Department of Physic*, indian institute of technology, New Delhi, India, hal 194-201.
- Wang, H., dkk, 2014, A micro oxygen sensor based on a nano sol gel  $\text{TiO}_2$  thin film, *Journal Xia'an jiaotong University*, Shaanxi, China, hal 16423-16433.
- Wismadi, T., 2001, Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Tipis Copper Oxide ( $\text{CuO}$ ) Sebagai Sensor Gas, *Skripsi*, Program S-1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Yadav, B. C., dkk, 2011, *Solid-state Titania-based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature*, *Journal*, Vol. 34, No. 7, hal. 1639-1644.