

## DETEKTOR GAS OKSIGEN DARI BAHAN SEMIKONDUKTOR TiO<sub>2</sub> DOPING CuO

**Paradita Ramli\***, Elvaswer  
Jurusan Fisika Universitas Andalas  
*Email : Paraditaramli77@gmail.com*

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi detektor oksigen berupa pelet dengan bahan utama TiO<sub>2</sub> didoping oleh CuO. Pelet detektor oksigen dibuat dengan variasi doping CuO 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap bahan utama TiO<sub>2</sub>. Proses pembuatan detektor oksigen diawali dengan pencampuran bahan, kalsinasi pada temperatur 500°C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi, dan sintering pada temperatur 700°C selama 4 jam. Detektor oksigen diuji pada temperatur ruang (30°C) dengan melihat karakteristik I-V, nilai sensitivitas, nilai konduktivitas, waktu respon, dan karakterisasi XRD. Nilai sensitivitas tertinggi dihasilkan sampel 98% mol TiO<sub>2</sub> + 2% mol CuO sebesar 10,98 pada tegangan 30 volt dengan waktu respon 55 s. Nilai konduktivitas tertinggi dihasilkan oleh sampel 90% mol TiO<sub>2</sub> + 10% mol CuO pada lingkungan oksigen. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal sampel dengan doping lebih kecil daripada sampel tanpa doping. Pada doping TiO<sub>2</sub> + 6% mol CuO telah terbentuk senyawa baru dengan puncak CuO.

**Kata kunci:** Detektor oksigen, TiO<sub>2</sub>(CuO), sensitivitas, waktu respon, XRD.

### ABSTRACT

Oxygen detector characterization has been done in the form of pellets with the main ingredients of TiO<sub>2</sub> doped by CuO. The oxygen detector's pellets are made by varying doped of CuO 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10% of the main ingredients TiO<sub>2</sub>. The process of making oxygen detector begins with the mixing of materials, calcination temperatur of 500 oC for 4 hours, grinding, compacting and sintering at 700 oC for 4 hours. Oxygen detectors are tested at room temperature (30oC) by seeing the characteristics of I-V, sensitivity, conductivity, response time, and XRD characterization. The highest sensitivity value resulting from sample with 98% mol TiO<sub>2</sub> + 2% mol CuO at 10,98 at a voltage of 30 volts with a response time 55 s. The highest conductivity value resulting from the sample 90% mol TiO<sub>2</sub> +10% mol CuO in oxygen environment. XRD results showed the crystal size of sample by doping is smaller than the sample without doping. At doping TiO<sub>2</sub> + 6% mol CuO has formed a new compound with the peak of CuO.

**Keywords :** Oxygen detector, TiO<sub>2</sub> (CuO), sensitivity, response time, XRD.

### 1. PENDAHULUAN

Udara dalam bumi mengandung banyak unsur. Salah satu dari unsur tersebut adalah gas oksigen. Gas oksigen merupakan unsur kedua yang banyak ditemukan di atmosfer, yaitu nitrogen 78,08%, oksigen 20,95% dan 0,97% unsur lainnya (Cook & Lauer 1968). Oksigen berasal dari hasil fotosintesis tumbuhan yang berperan penting dalam sistem pernafasan manusia.

Keberadaan oksigen tidak hanya berperan secara biologis tapi juga industri, salah satunya sebagai bahan bakar roket (NASA, 1926). Penggunaan gas oksigen lainnya adalah untuk keperluan medis di rumah sakit. Oksigen disimpan dalam sebuah tabung baja dimana oksigen yang terkandung didalamnya adalah oksigen murni yang kemudian disimpan dalam ruangan khusus dan tertutup. Tabung yang berisi oksigen merupakan tabung gas bertekanan tinggi sehingga berbahaya apabila terjadi kebocoran seperti terbakar dan

meledak. 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 (Matheson Tri Gas, 2000).

Kebakaran akibat kebocoran gas oksigen dapat dicegah dengan membuat suatu detektor gas oksigen menggunakan material semikonduktor yang sensitif terhadap gas oksigen dan terbuat dari bahan logam oksida seperti TiO<sub>2</sub>, ZnO, CuO, SnO<sub>2</sub>. 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).

Bahan TiO<sub>2</sub> merupakan bahan logam oksida yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi sensor gas karena memiliki sifat seperti stabilitas kimia, transfer muatan dan sifat listrik yang baik (Yadav, dkk., 2011). Material TiO<sub>2</sub> dikenal tidak beracun, memiliki stabilitas termal cukup tinggi dan kemampuannya dipergunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya. Peningkatan sifat mekanik, sifat elektronik dan sifat katalitik material TiO<sub>2</sub> dapat diupayakan melalui pembentukannya dalam skala molekular atau dikenal sebagai nanopartikel (Fatimah, 2009).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai sensor gas oksigen menggunakan bahan titanium (TiO<sub>2</sub>) doping niobium (Nb) menggunakan metode solid state reaction oleh Sharma (1998). Hasil penelitian menunjukkan nilai sensitivitas TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan Nb adalah 3 pada temperatur 400oC dengan waktu respon 3s, sensitivitas yang dihasilkan dengan didoping lebih besar dibandingkan tanpa doping. SEM menunjukkan bahwa ukuran kristal dengan doping lebih kecil dibandingkan tanpa doping.

Penelitian sensor gas oksigen lainnya juga dilakukan oleh Wang (2014) menggunakan TiO<sub>2</sub> dan Pd dengan metode film tipis. Hasil dari penelitian menunjukkan sensitivitas meningkat pada bahan TiO<sub>2</sub> yang dilapisi Pd sebesar 0,054 dengan deviasi  $2,56 \times 10^{-4}$ , waktu respon rata-rata adalah 52 s, hasil SEM memperlihatkan bahan TiO<sub>2</sub> / Pd / TiO<sub>2</sub> memiliki ukuran yang lebih kecil atau nanopartikel dengan luas permukaan yang lebih besar dan kekasaran lebih kecil.

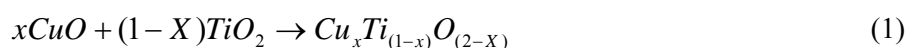
Penelitian ini menggunakan bahan semikonduktor TiO<sub>2</sub> yang didoping CuO untuk meningkatkan sensitivitas dan menurunkan suhu operasi.

## 2. METODE

### 2.1 Pembuatan Pelet

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan enam variasi persentase doping CuO (Merck, Jerman) yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% mol terhadap bahan dasar TiO<sub>2</sub> (Merck, Jerman). Ukuran sampel pelet yang di uji berdiameter 11 mm dan tebal 2,5 mm.

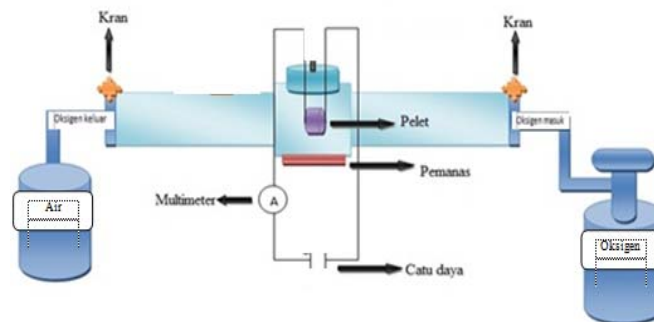
Persamaan reaksi kimia yang digunakan untuk mendapatkan massa sampel pada penelitian ini adalah :



x adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol

Bahan sampel digerus digerus selama kurang lebih kurang 2 jam hingga diperkirakan sudah homogen, kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam, selanjutnya bahan dikompaksi lalu disintering pada suhu 700 °C selama 4 jam (Dewi, 2014).

## 2.2 Karakterisasi I-V



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

Pellet yang telah disintering dikarakterisasi menggunakan alat pengujian sensor gas seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Ketika dilakukan penelitian, gas oksigen dialirkan dengan kecepatan alir gas oksigen yang diatur menggunakan regulator dengan kecepatan 120 gel/detik. Pengkarakterisasian dilakukan dalam temperatur ruang yang diberi tegangan dalam bentuk bias maju dan bias mundur yang terhubung dengan salah satu bagian elektroda pada sampel holder dan multimeter. Pengukuran karakteristik I-V dilakukan dengan memberikan variasi tegangan dari 30 volt sampai -30 volt dengan interval 5 volt.

Pengukuran karakteristik I-V akan menentukan nilai sensitivitas dan nilai konduktivitas detektor. Nilai sensitivitas dan konduktivitas dapat diketahui dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus :

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

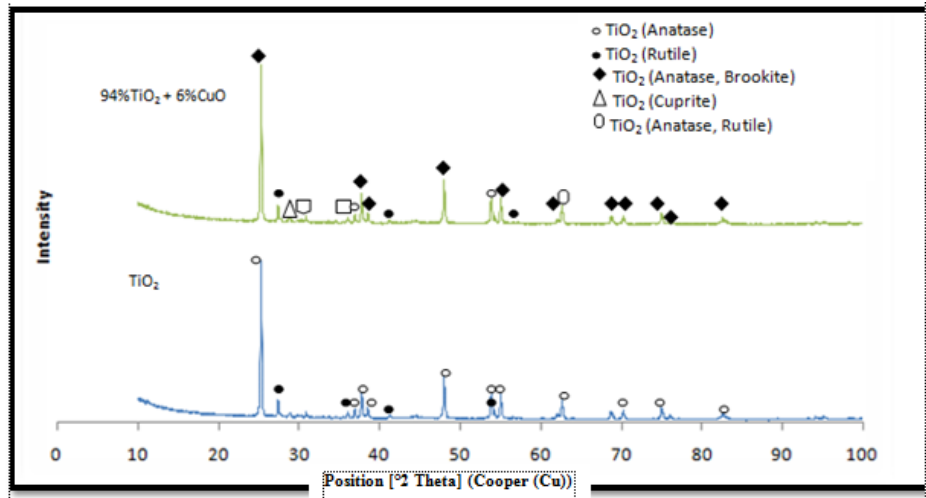
$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (3)$$

Dengan S adalah sensitivitas,  $I_o$  adalah arus dilingkungan oksigen,  $I_u$  adalah arus dilingkungan udara,  $\sigma$  adalah konduktivitas, L adalah tebal sampel, R adalah resistansi, dan A adalah luas penampang.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Analisis Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD pada penelitian ini dilakukan pada dua sampel yaitu 100%  $TiO_2$  dan sampel 94%  $TiO_2$  + 6% CuO. Pola difraksi XRD kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** Grafik Pola difraksi XRD pada sampel 100% mol TiO<sub>2</sub> dan sampel 94% mol TiO<sub>2</sub> + 6% mol CuO

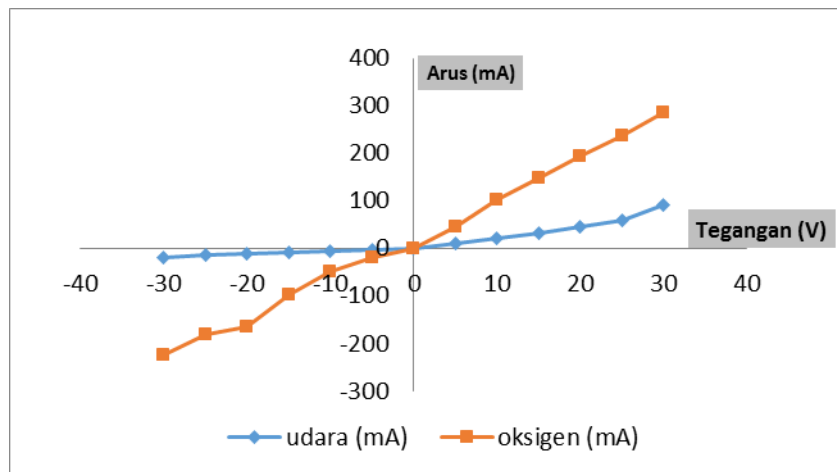
Karakterisasi XRD dilakukan pada kedua sampel untuk melihat perbandingan struktur kristal antara TiO<sub>2</sub> murni dengan TiO<sub>2</sub> yang didoping. Salah satu sampel doping yang dikarakterisasi adalah 94% mol TiO<sub>2</sub> + 6% mol CuO. Pengkarakterisasian dilakukan dengan tujuan untuk melihat perubahan struktur kristal dan senyawa baru yang muncul antara sampel yang didoping dan tanpa doping.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa sampel 100% mol TiO<sub>2</sub> memiliki puncak tertinggi dalam bentuk anatase dengan puncak lainnya dalam bentuk rutile. Sedangkan untuk sampel 94% mol TiO<sub>2</sub> + 6% mol CuO didapatkan puncak-puncak seperti anatase rutile, dan yang didominasi puncak tertinggi yaitu anatase brookite serta terbentuknya senyawa baru dengan munculnya puncak yang baru yaitu cuprite.

Bahan TiO<sub>2</sub> yang diberi doping CuO mempengaruhi ukuran kristal TiO<sub>2</sub>. Ukuran kristal pada 100% TiO<sub>2</sub> dengan FWHM pada intensitas tertinggi yaitu 6631,07 adalah 127,38 nm. Ukuran kristal TiO<sub>2</sub> didoping dengan 6% mol CuO dengan FWHM pada intensitas tertinggi adalah 118,42 nm. Ukuran kristal TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan 6% mol CuO lebih kecil dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> tanpa doping. Hal ini disebabkan karena ketika bahan diberikan doping, masing-masing bahan saling membelah diri sehingga terjadinya pertumbuhan kristal yang membuat ukuran kristal menjadi lebih kecil.

### 3.2 Karakteristik I-V Sampel pada Lingkungan Udara dan Oksigen

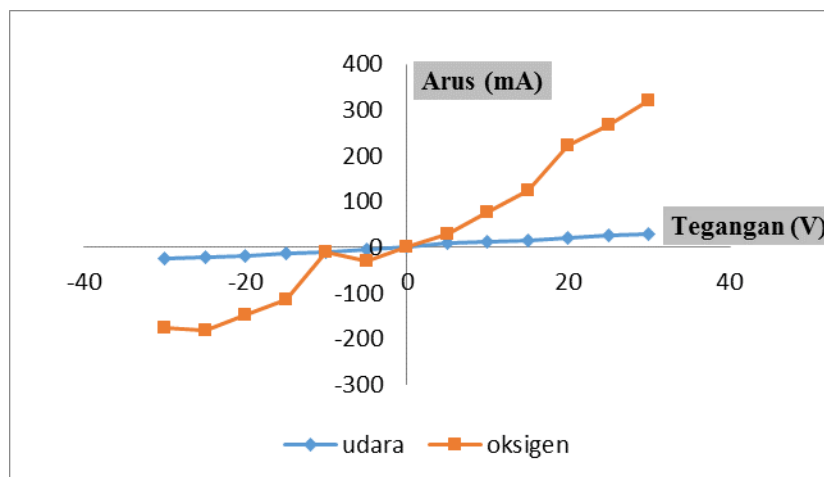
Nilai karakteristik I-V didapat dengan mengukur besar arus dan tegangan pada masing-masing sampel. Karakteristik I-V berupa grafik yang menunjukkan perbedaan nilai arus dan tegangan pada lingkungan udara dan lingkungan oksigen. Karakteristik I-V untuk sampel 100% mol TiO<sub>2</sub> tanpa doping ditunjukkan oleh Gambar 3.



**Gambar 3** Grafik I-V 100% mol TiO<sub>2</sub>

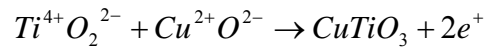
Grafik I-V pada Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai arus meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan. Bahan detektor diasumsikan sebagai dioda namun tidak berperilaku seperti dioda. Karena menghasilkan karakteristik grafik yang linier.

Arus pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan lingkungan udara yang disebabkan karena reaksi yang terjadi antara oksigen dan oksida yang ada pada permukaan partikel TiO<sub>2</sub> yang mengakibatkan berkurangnya lebar pada daerah deplesi sehingga elektron mudah untuk melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Nilai arus pada bias maju juga lebih besar dibanding bias mundur. Hal ini terjadi karena pada bias maju terjadi pengecilan daerah deplesi akibat adanya pengurangan antara tegangan kontak dengan tegangan bias maju. Sedangkan pada bias mundur arus kecil karena adanya penambahan tegangan kontak dengan tegangan bias mundur, sehingga terjadi pelebaran pada daerah deplesi yang membuat elektron sulit melompat.

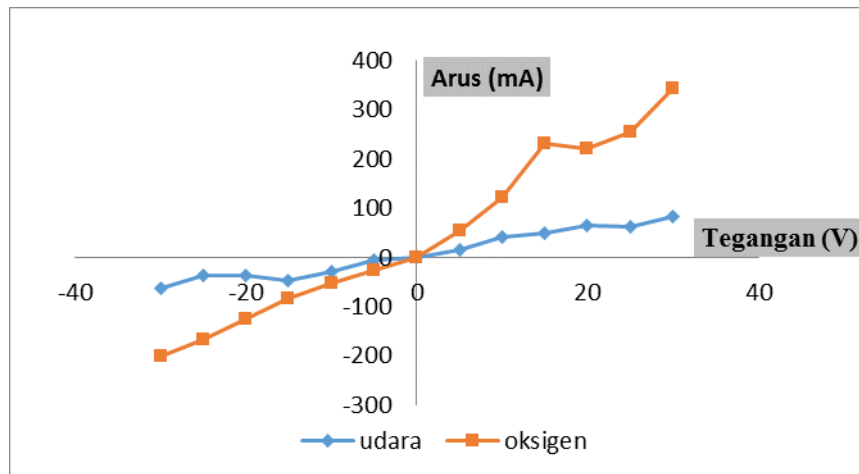


**Gambar 4** Grafik I-V 98% mol TiO<sub>2</sub> + 2% mol CuO

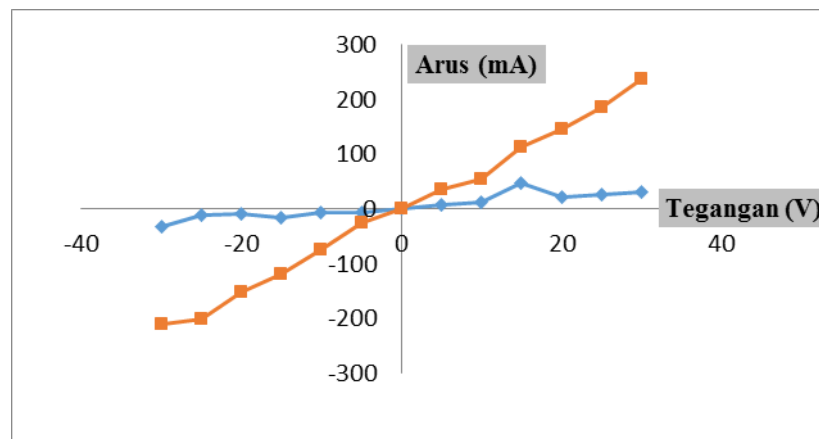
Sampel TiO<sub>2</sub> yang didoping dengan 2% mol CuO pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai arus pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tanpa doping pada Gambar 4. Ini disebabkan oleh efek doping antara TiO<sub>2</sub> dengan CuO yang kelebihan dua hole dapat memperkecil energi gap dengan munculnya energi aseptor. Seperti yang ditunjukkan persamaan reaksi kimia berikut.



Selain itu juga terjadi reaksi antara oksigen dengan oksida material yang melepaskan satu elektron bebas yang berperan sebagai pembawa muatan. Sampel  $TiO_2$  yang didoping 2% mol CuO merupakan sampel dengan perbandingan arus pada lingkungan oksigen dengan lingkungan udara paling besar.

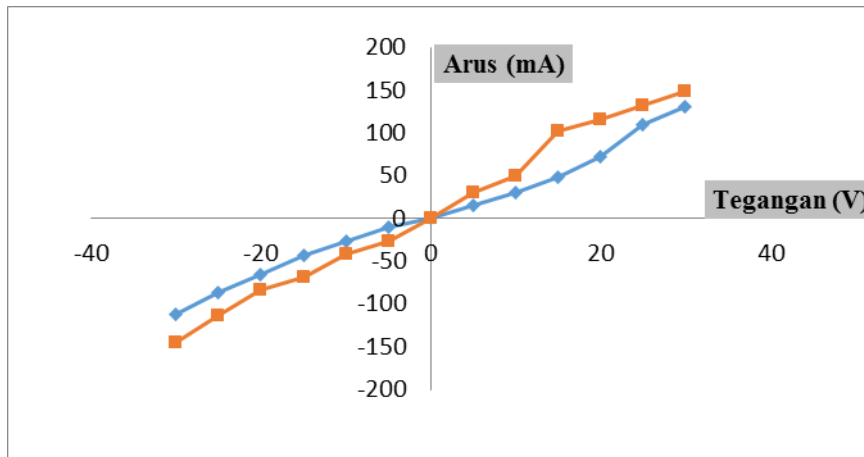


**Gambar 5** Grafik I-V 96% mol  $TiO_2$  + 4% mol CuO

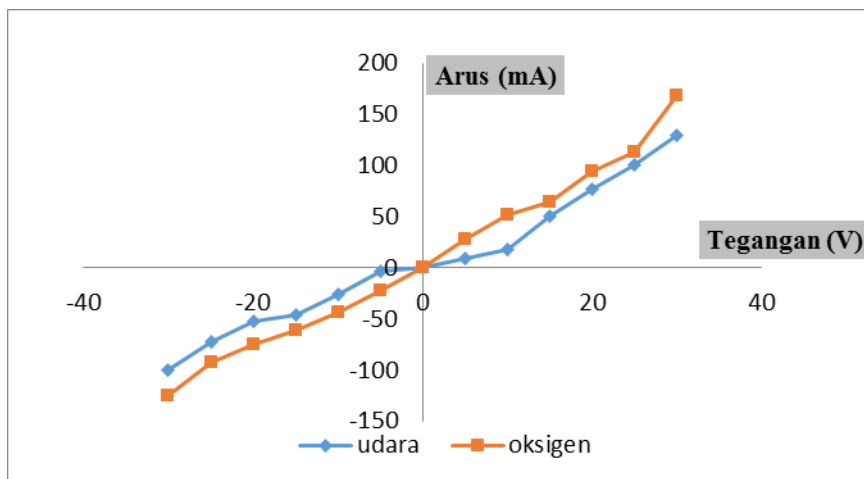


**Gambar 6** Grafik I-V 94% mol  $TiO_2$  + 6% mol CuO

Grafik pada Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan besar arus yang terus meningkat baik ketika berada dilingkungan udara maupun dilingkungan oksigen. Semakin besar doping yang diberikan maka daerah deplesi akan semakin mengecil sehingga elektron semakin mudah melompat yang berakibat nilai arus menjadi semakin besar. Arus pada lingkungan oksigen masih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara karena reaksi antara oksigen dan oksida pada permukaan partikel masih terjadi.



**Gambar 7** Grafik I-V 92% mol  $\text{TiO}_2$  + 8% mol  $\text{CuO}$

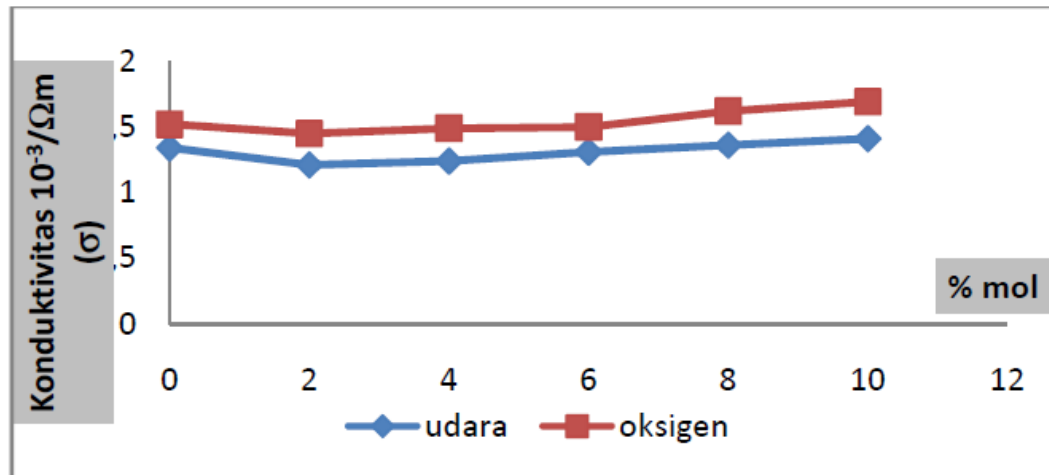


**Gambar 8** Grafik I-V 90% mol  $\text{TiO}_2$  + 10% mol  $\text{CuO}$

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan arus pada lingkungan oksigen tidak jauh berbeda dengan lingkungan udara dibandingkan dengan sampel tanpa doping. Hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan dapat mengakibatkan kemungkinan yang terjadi bukanlah kontak antar muka antara partikel  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{CuO}$  melainkan partikel doping  $\text{CuO}$  kontak antar muka dengan  $\text{CuO}$  sehingga reaksi yang terjadi antara oksigen dan oksida pada permukaan sampel sedikit.

### 3.3 Karakteristik Konduktivitas

Hasil konduktivitas dapat dilihat berdasarkan Gambar 9



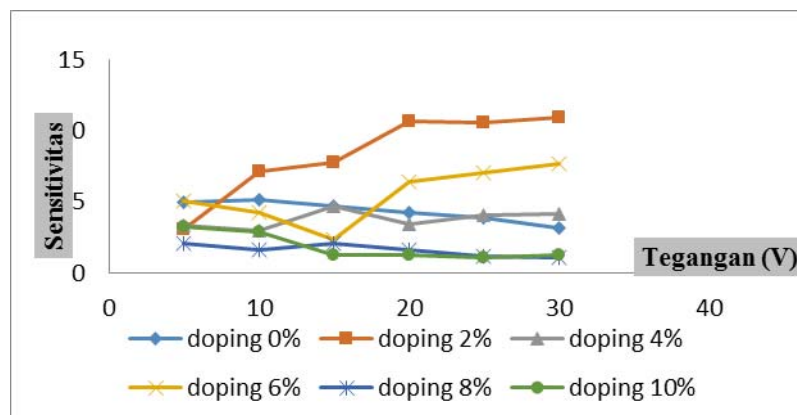
**Gambar 9** Grafik perubahan konduktivitas di lingkungan oksigen dan udara

Gambar 9 memperlihatkan bahwa nilai konduktivitas pada lingkungan oksigen lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan udara. Hal ini terjadi karena reaksi antara oksigen dan oksida pada permukaan partikel sampel lebih banyak terjadi ketika sampel berada pada lingkungan oksigen.

Konduktivitas tertinggi diperoleh pada sampel dengan doping 10% mol CuO. Hal ini disebabkan oleh banyaknya penambahan doping akan menyebabkan elektron memperoleh cukup energi untuk melewati daerah deplesi. Berdasarkan hasil XRD, penambahan doping pada bahan akan memperkecil ukuran kristal sehingga partikel TiO<sub>2</sub> dan CuO akan lebih terpusat yang menyebabkan batas butir antar keduanya semakin mengecil sehingga elektron dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

### 3.4 Karakteristik Sensitivitas

Berdasarkan karakterisasi I-V dari keenam sampel yang telah diukur, didapatkan sebuah grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan. Seperti yang terlihat pada Gambar 10.



**Gambar 10** Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa pada tegangan 5V sampel yang memiliki sensitivitas tertinggi adalah sampel dengan doping 6% mol CuO. Namun ketika diberi tegangan besar dari 5V sensitivitas cenderung menurun. Sedangkan sensitivitas dengan tegangan 10V hingga 30V diperoleh sensitivitas paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan doping 2% mol CuO dengan perolehan sensitivitas tertinggi pada tegangan 30V

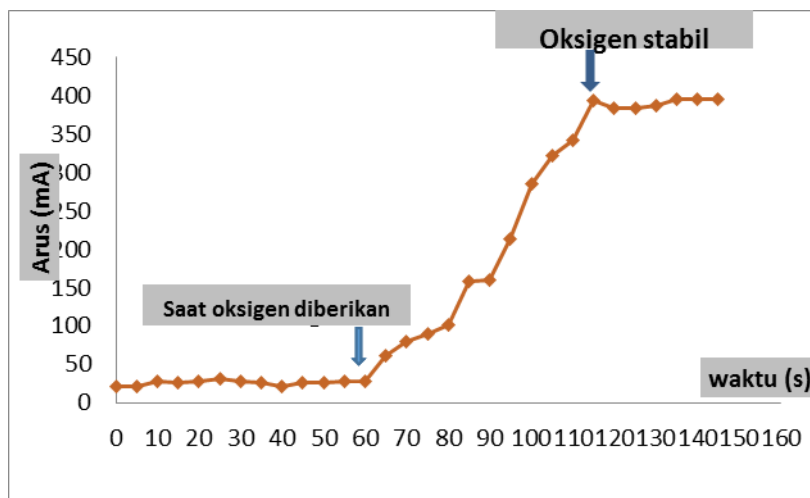


yaitu 10,98. Hal ini disebabkan karena kemungkinan hubungan antar muka antara  $\text{TiO}_2$  dengan doping CuO paling optimum.

Sampel dengan konduktivitas tertinggi yaitu dengan doping 10% mol CuO memiliki besar sensitivitas yang rendah. Hal ini disebabkan karena penambahan doping yang banyak akan menimbulkan hubungan antar muka antara CuO dengan CuO yang menyebabkan reaksi antara oksigen dan oksida sedikit sehingga nilai sensitivitas menurun.

### 3.5 Karakterisasi Waktu Respon

Waktu respon diambil dari sampel dengan nilai sensitivitas tertinggi yaitu pada sampel dengan doping 2%. Waktu respon yang dimiliki oleh sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO pada tegangan 30V dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11** Grafik waktu respon sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO

Sampel dibiarkan pada lingkungan udara hingga stabil pada detik ke-60. Oksigen mulai dialirkan dan terus meningkat. Sampel dibiarkan pada lingkungan oksigen hingga stabil pada detik ke-115. Besarnya waktu respon diperoleh dari awal terjadinya perubahan arus ketika oksigen dialirkan sampai arus pada lingkungan oksigen stabil. Dari hasil grafik didapatkan waktu respon yang dimiliki oleh sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO adalah selama 55 s.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa detektor sudah mampu membedakan kondisi lingkungan udara dengan lingkungan Oksigen. Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO yaitu 10,98. Sampel ini merupakan sampel yang paling baik digunakan sebagai detektor gas Oksigen. Konduktivitas pada lingkungan Oksigen lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan udara. Konduktivitas tertinggi dimiliki oleh sampel 90% mol  $\text{TiO}_2$  + 10% mol CuO dengan nilai konduktivitas yaitu  $1,69 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$ . Waktu respon sampel 98% mol  $\text{TiO}_2$  + 2% mol CuO pada tegangan 30 volt adalah 55 s. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya senyawa baru dengan munculnya puncak CuO. Ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  yang didoping 6% mol CuO lebih kecil dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  tanpa doping.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Akbar, A.S., 1997, Sensing Mechanism of a Carbon Monoxide Sensor Based on Anatase Titania, *Journal Electrochemistry Society*, Vol 144 No.5.
2. Cook, G.A., Lauer, C.M., 1968, *The encyclopedia of the chemical elements*, Reinhold book Corporation, New york.
3. Dewi, R.S., 2014, Karakterisasi sensor gas lpg (Liquefied Petroleum Gas) dari bahan komposit semikonduktor TiO<sub>2</sub>(CuO), skripsi, Program Studi S-1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.
4. Fatimah, Is., Dispersi TiO<sub>2</sub> ke dalam SiO<sub>2</sub>-montmorillonit : Efek Jenis Prekursor, *Jurnal Penelitian Saintek*, Vol.14, No.1, April 2009.
5. Sharma, R.K., 1996, Mechanism in Nb doped titania oxygen gas sensor, *journal, department of physic, indian institute of technology, New Delhi, India*, hal 194-201.
6. Wang, H., Chen, L., Sun,Q., Wang, J., Zhao, Y., 2014, A micro oxygen sensor based on a nano sol gel TiO<sub>2</sub> thin film, *journal, Xia'an jiaotong University, Shaanxi, China*, hal 16423-16433.
7. Wismadi, T., 2001, Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Tipis Copper Oxide (CuO) Sebagai Sensor Gas, Skripsi, Program S-1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
8. Yadav, B. C., Yadav, A., Shukla, T., dan Singh, S., 2011, Solid-state Titania-based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature, *Bull. Mater. Sci.*, Vol.34, No. 7, hal. 1639-1644.
9. Matheson Tri Gas, 2000. Liquid Oxygen Material Safety Data Sheet. <https://www.mathesongas.com/pdfs/msds/00225011.pdf>. diakses juli 2015.
10. NASA, 1926. First Flight Of a Liquid Propellant Rocket. <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2002-000132.HTML>. diakses pada 1 agustus 2015.