

## Karakterisasi *I-V* Semikonduktor CuO Didoping TiO<sub>2</sub> sebagai Sensor Gas Hidrogen

Sinta Maiyeni\*, Elvaswer

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

\*sintamaiyeni1010@gmail.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet dengan bahan utama CuO yang didoping dengan TiO<sub>2</sub>. Pelet sensor gas hidrogen dibuat dengan variasi doping TiO<sub>2</sub> 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap bahan utama CuO. Sensor gas hidrogen dibuat dengan metode reaksi keadaan padat. Sensor gas hidrogen diuji pada temperatur ruang dengan melihat karakteristik *I-V*, sensitivitas, konduktivitas, waktu respon, dan kristalinitas. Karakteristik *I-V* menunjukkan bahwa sampel dengan doping TiO<sub>2</sub> sebanyak 6% mol memiliki sensitivitas tertinggi yaitu 2,80 pada tegangan operasional 9 Volt. Nilai konduktivitas tertinggi dimiliki sampel CuO doping 6% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $19,65 \times 10^{-5}/\Omega\text{m}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon, konduktivitas dan ukuran kristal dari sampel yang memiliki sensitivitas tertinggi akan diukur. Waktu respon sampel CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> adalah 42 s pada tegangan 9 Volt. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> yaitu 143,40 nm lebih besar dibandingkan dengan bahan CuO tanpa doping yaitu 128,21. Sensor gas hidrogen telah mampu membedakan kondisi di lingkungan hidrogen dengan kondisi di lingkungan udara, dengan sensitivitas yang tinggi dan waktu respon yang singkat. Sensor yang paling optimal digunakan adalah CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub>.

Kata kunci : sensor gas hidrogen, CuO, TiO<sub>2</sub>, sensitivitas, konduktivitas, waktu respon

### ABSTRACT

*The hydrogen gas sensor in the form of pellets made from CuO doped with TiO<sub>2</sub> was characterized. The hydrogen gas sensor pellets were made by varying dopant percentage of 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10% to the main ingredient. The hydrogen gas sensor was fabricated using solid state reaction method. Hydrogen gas sensor was tested at room temperature by investigating the I-V characteristic, sensitivity, conductivity, response time, and crystallinity. I-V characteristics indicates that the sample doped with 6% mol TiO<sub>2</sub> shows the highest sensitivity, that is 2.80 at 9 Volt. The sample of CuO-doped with 6% mol TiO<sub>2</sub> has the highest conductivity that is  $19.65 \times 10^{-5}/\Omega\text{m}$  in hydrogen environment. response time, conductivity and crystal size of Samples which have the highest sensitivity will be measured. The response time of the CuO doped with 6% mol TiO<sub>2</sub> sample at 9 Volt is 42 s. XRD results indicate that the crystal size of CuO doped with 6% mol TiO<sub>2</sub> that is 143.40 nm that larger than that of non-doped CuO that is 128.21. The hydrogen gas sensor is able to differentiate the state wheter in hydrogen environment or in air environment, with high sensitivity and short response time. The sample of CuO doped with 6% mol TiO<sub>2</sub> is the best sensor to be used.*

*Keywords : hydrogen gas sensor, CuO, TiO<sub>2</sub>, sensitivity, conductivity, response time*

### I. PENDAHULUAN

Gas hidrogen merupakan unsur teringan dan unsur yang melimpah di alam semesta dengan persentase sekitar 75 % dari total massa unsur. Pada suhu dan tekanan standar gas hidrogen memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa. Gas hidrogen sangat mudah terbakar pada konsentrasi lebih 4% di udara bebas (Cotton dan Wilkinson, 1989). Hidrogen sudah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti teknologi bahan bakar sel, mesin roket, pendingin pada generator pembangkit listrik, dan bahan bakar mobil (Sisman, dkk., 2016). Sensor hidrogen diperlukan untuk memantau kebocoran hidrogen selama produksi dan penyimpanan untuk menghindari ledakan.

Sensor gas sudah banyak dikembangkan dengan menggunakan bahan semikonduktor logam oksida. Sensor dengan bahan semikonduktor memiliki kelebihan adalah biaya yang lebih murah dan dapat dibuat dengan metode yang sederhana (Hendri dan Elvaswer, 2012). Bahan semikonduktor logam oksida yang memiliki kemampuan sebagai sensor gas antara lain seperti TiO<sub>2</sub>, ZnO, CuO, SnO<sub>2</sub> (Nopriyanti, 2012). Material CuO merupakan bahan logam oksida yang memiliki sifat serapan gas yang cocok digunakan untuk aplikasi sensor gas (Wismadi, 2011). Kemampuan sensor gas dapat ditingkatkan dengan pemberian doping berupa logam mulia dan metal oksida. Bahan logam mulia merupakan bahan yang mahal dan susah didapatkan sehingga dipilihlah TiO<sub>2</sub> sebagai bahan pendoping (Yadav dkk., 2011).

Penelitian tentang gas hidrogen sebelumnya telah dilakukan oleh Jung dan Yanasida (1996) yaitu sensor gas menggunakan bahan CuO(Na)/ZnO berupa pelet pada temperatur 260 °C. Hasilnya menunjukkan bahwa sensitivitas yang didapatkan yaitu 2,00 pada 4000 ppm hidrogen. Li dkk. (2013) juga telah melakukan penelitian tentang sensor gas hidrogen menggunakan bahan TiO<sub>2</sub> didoping Ni yang berbentuk plat ukuran 15 mm x 10 mm x 1 mm. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu respon sensor yang diuji pada temperatur 25 °C yaitu 170 s pada 1000 ppm hidrogen.

Rusdiana (2013) juga telah melakukan penelitian sensor gas hidrogen berbasis film tipis semikonduktor Gallium Nitrat (GaN) yang ditumbuhkan di atas substrat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menggunakan teknik *sol gel spin coating*. Hasilnya menunjukkan bahwa sensitivitas sensor terhadap gas hidrogen lebih besar dibandingkan terhadap gas nitrogen yaitu 0,6. Penelitian lain tentang sensor gas hidrogen juga telah dilakukan oleh Hamdan dan Mohammed (2016) menggunakan metoda film tipis. Hasilnya menunjukkan bahwa sensitivitas sensor yaitu 0,79 dan waktu respon 45s pada temperatur 300°C dalam 75 ppm hidrogen.

Sensor gas biasanya dibuat berupa film tipis, film tebal, dan pelet. Sensor keadaan padat menunjukkan kemampuan respon sensor yang cepat, penggunaan yang sederhana dan harga yang lebih murah (Patil dkk., 2011). Semakin tinggi nilai sensitivitas dan semakin cepat waktu responnya, maka semakin bagus bahan tersebut dijadikan sebagai bahan untuk membuat sensor gas.

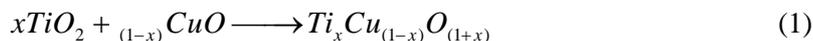
Penelitian ini akan dilakukan karakterisasi *I-V* menggunakan bahan semikonduktor CuO yang didoping TiO<sub>2</sub> dengan metoda reaksi keadaan padat untuk meningkatkan sensitivitas dan waktu respon serta dapat bekerja pada suhu kamar.

## II. METODE

### 2.1 Pembuatan Pelet CuO didoping ZnO

Pada penelitian ini dibuat pelet dengan enam variasi persentase doping TiO<sub>2</sub> (*merck*, 99%) yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% mol terhadap bahan dasar CuO (*merck*, 99%). Sampel pelet yang diuji memiliki diameter 0,94 cm dan ketebalannya 0,135 cm.

Reaksi kimia yang terjadi pada penelitian ini :



dimana  $x$  adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol. Sampel digerus selama 30 menit agar sampel menjadi halus, dan dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi bahan digerus kembali, agar butir-butir yang menggumpal menjadi lebih halus. Bahan dikompaksi sehingga berbentuk pelet, kemudian pelet di-*sintering* pada suhu 600 °C selama 4 jam.

### 2.2 Pengukuran Nilai *I-V*

Pengukuran nilai *I-V* dilakukan dengan salah satu bagian elektroda sampel dihubungkan dengan kutub positif sedangkan yang lainnya dihubungkan dengan kutub negatif (bias maju) dan untuk bias mundur polaritasnya dibalik. Antara sampel dan tegangan dihubungkan ke amperemeter, sehingga arus (*I*) dan tegangan (*V*) sampel dapat diukur. Pengukuran karakteristik *I-V* setiap sampel dilakukan dengan menyusun alat seperti Gambar 1. Temperatur yang digunakan adalah temperatur ruang, 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 dan kemudian dilanjutkan dengan bias balik. Tegangan divariasikan dari -30 volt sampai dengan 30 volt dengan interval 3 volt.

Karakteristik *I-V* diukur untuk menentukan sensitivitas dan konduktivitas sensor. Nilai sensitivitas dan konduktivitas dihitung menggunakan Persamaan 2 dan Persamaan 3. Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu gas. Nilai sensitivitas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

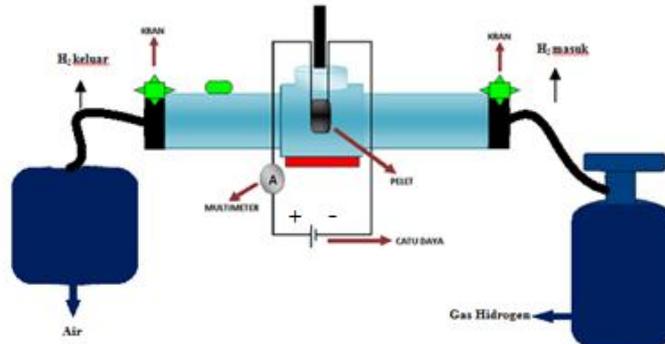
$$S = \frac{I_{hidrogen}}{I_{udara}} \quad (2)$$

dengan  $I_{hidrogen}$  adalah arus pada lingkungan hidrogen ( $\mu A$ ),  $I_{udara}$  adalah arus pada lingkungan udara ( $\mu A$ ), dan  $S$  merupakan sensitivitas.

Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{L}{RA} \tag{3}$$

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



Gambar 1 Skema Rangkaian Alat Pengujian Sensor Hidrogen

XRD digunakan untuk melihat ukuran kristal dari sampel. Ukuran kristal dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \tag{4}$$

dimana  $D$  adalah ukuran kristal,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $B$  adalah lebar penuh garis difraksi pada saat intensitas setengah maksimum (*Full Width Half Maximum*, FWHM), dan 0,9 merupakan nilai konstanta material untuk partikel bulat.

### III. HASIL DAN DISKUSI

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

Nilai karakteristik  $I-V$  didapatkan dengan mengukur besar arus dan tegangan pada masing-masing sampel. Grafik karakteristik  $I-V$  untuk sampel 100% mol CuO tanpa doping ditunjukkan oleh Gambar 2 (a) dimana arus pada lingkungan hidrogen hampir *overlap* dengan arus pada lingkungan udara. Hal ini disebabkan oleh CuO sebelum didoping mempunyai energi *gap* lebih besar dibandingkan setelah didoping sehingga elektron susah untuk melompat dari pita valensi ke pita konduksi.

Sampel CuO 98% mol didoping 2% mol TiO<sub>2</sub> pada Gambar 2 (b) menunjukkan arus pada lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara. Hal ini disebabkan oleh doping dapat menurunkan energi *gap* sehingga elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Selain itu hidrogen sudah bereaksi dengan oksida sehingga dapat memperkecil daerah deplesi antar muka partikel yang membuat elektron mudah melewati daerah deplesi.

Sampel CuO 96% mol didoping 4% mol TiO<sub>2</sub> pada Gambar 2 (c) menunjukkan bahwa besar arus yang terus meningkat baik ketika berada di lingkungan udara maupun di lingkungan hidrogen. 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 hidrogen masih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara karena reaksi antara hidrogen dan oksida pada permukaan partikel masih terjadi.

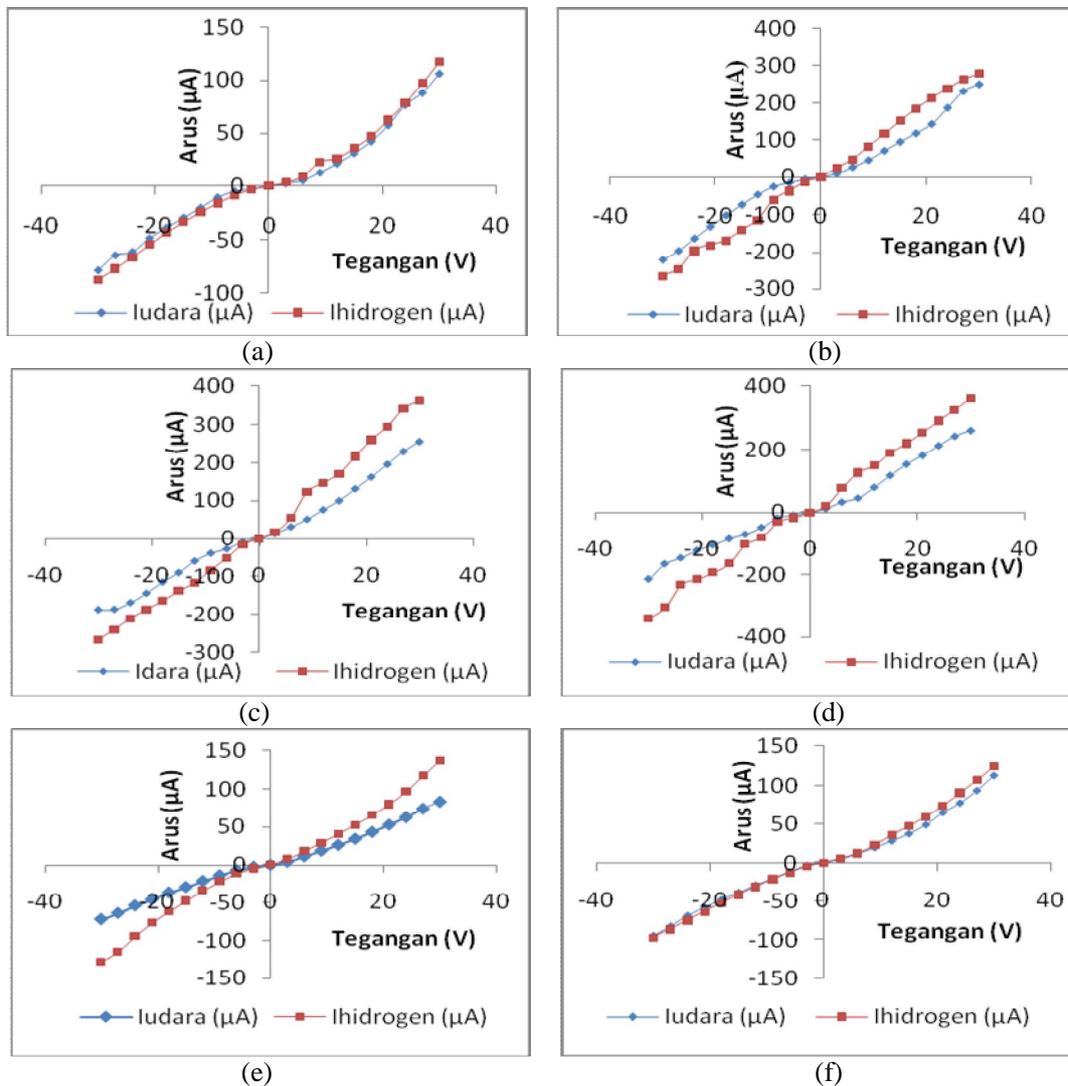
Sampel CuO 94% mol didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> pada Gambar 2 (d) menunjukkan bahwa nilai arus pada lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan dengan sampel sebelumnya. Ini

disebabkan oleh efek doping antara CuO dengan TiO<sub>2</sub> dapat memperkecil energi gap. Selain itu juga terjadi reaksi antara hidrogen dengan oksida material yang melepaskan satu elektron bebas yang berperan sebagai pembawa muatan seperti yang ditunjukkan persamaan reaksi kimia berikut.



Gambar 2 (e) memperlihatkan arus pada lingkungan hidrogen maupun pada lingkungan udara menurun. Hal ini disebabkan karena reaksi hidrogen dengan oksida yang terjadi sedikit sehingga dapat memperbesar daerah deplesi antar muka partikel yang membuat elektron sulit untuk berpindah dari satu partikel ke partikel lain.

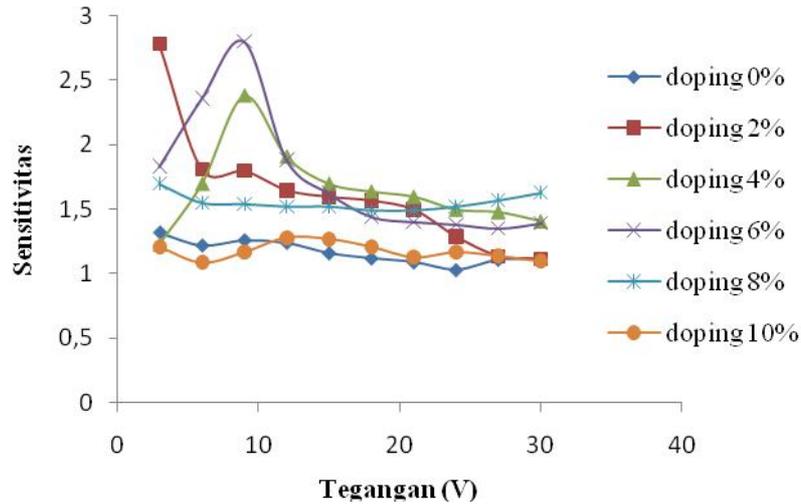
Gambar 2 (f) memperlihatkan arus pada lingkungan hidrogen tidak jauh berbeda dengan lingkungan udara dibandingkan dengan sampel tanpa doping. Hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan dapat menurunkan daerah deplesi, karena terjadinya hubungan antar muka TiO<sub>2</sub> dengan TiO<sub>2</sub> sehingga akan mengurangi reaksi kimia antara hidrogen dengan oksida.



Gambar 2 Grafik karakteristik I-V pada lingkungan udara dan hidrogen (a) 100% mol CuO (b) 98% mol CuO + 2% mol TiO<sub>2</sub> (c) 96% mol CuO + 4% mol TiO<sub>2</sub> (d) 94% mol CuO + 6% mol TiO<sub>2</sub> (e) 92% mol CuO + 8% mol TiO<sub>2</sub> (f) 90% mol CuO + 10% mol TiO<sub>2</sub>

### 3.2 Karakteristik Sensitivitas

Sensitivitas sensor gas 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

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa sensitivitas tertinggi ditunjukkan pada sampel CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 2,80 s pada tegangan operasional 9 Volt. Hal ini disebabkan doping dapat memperkecil energi *gap* sehingga elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Sensitivitas terendah didapatkan pada sampel CuO tanpa doping, hal ini disebabkan sampel sebelum didoping mempunyai energi *gap* yang besar. Pada sampel CuO didoping 8% mol TiO<sub>2</sub> sensitivitas menurun hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan mengakibatkan elektron sulit untuk bergerak.

### 3.3 Karakteristik Konduktivitas

Nilai konduktivitas pada lingkungan udara maupun lingkungan hidrogen dapat dihitung menggunakan Persamaan 3. Nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas pada lingkungan udara. Hal ini disebabkan oleh reaksi antara hidrogen dengan oksida pada permukaan partikel yang lebih besar pada lingkungan hidrogen dibandingkan pada lingkungan udara. Perubahan nilai konduktivitas sebelum dan sesudah dialiri gas hidrogen pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

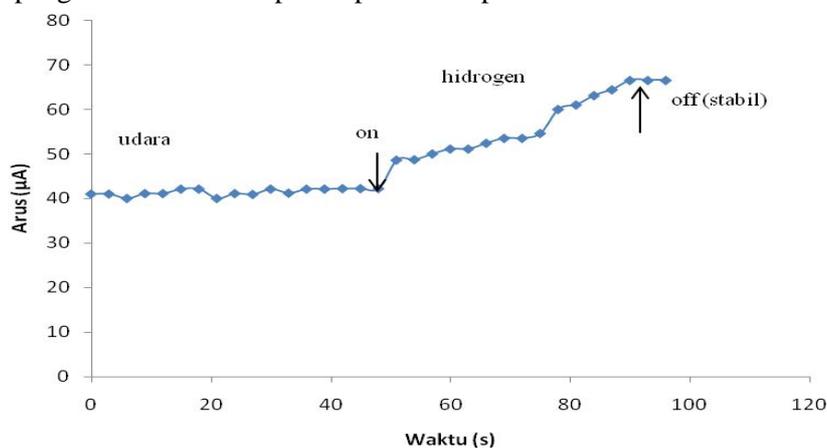
Tabel 1 Perubahan konduktivitas pada lingkungan udara dan hidrogen

Sampel	Konduktivitas ( $10^{-5} / \Omega m$ )	
	Lingkungan Udara	Lingkungan Hidrogen
CuO 100% mol	3,74	4,36
CuO + 2% mol TiO <sub>2</sub>	10,39	16,24
CuO + 4% mol TiO <sub>2</sub>	11,57	18,53
CuO + 6% mol TiO <sub>2</sub>	11,72	19,65
CuO + 8% mol TiO <sub>2</sub>	3,86	6,26
CuO + 10% mol TiO <sub>2</sub>	4,79	5,38

Sampel yang memiliki nilai konduktivitas yang tertinggi pada lingkungan udara maupun lingkungan hidrogen yaitu sampel CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> dengan nilai konduktivitasnya pada lingkungan udara yaitu  $11,72 \times 10^{-5} / \Omega m$ , sedangkan nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen yaitu  $19,65 \times 10^{-5} / \Omega m$ . hal ini disebabkan karena telah terjadi reaksi antara gas-gas yang terkandung di udara dengan oksida dan juga penambahan doping yang dapat memperkecil daerah deplesi.

### 3.4 Karakteristik Waktu Respon

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 94% mol CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> pada tegangan operasional 9 Volt. Grafik hasil pengukuran waktu respon dapat dilihat pada Gambar 4.

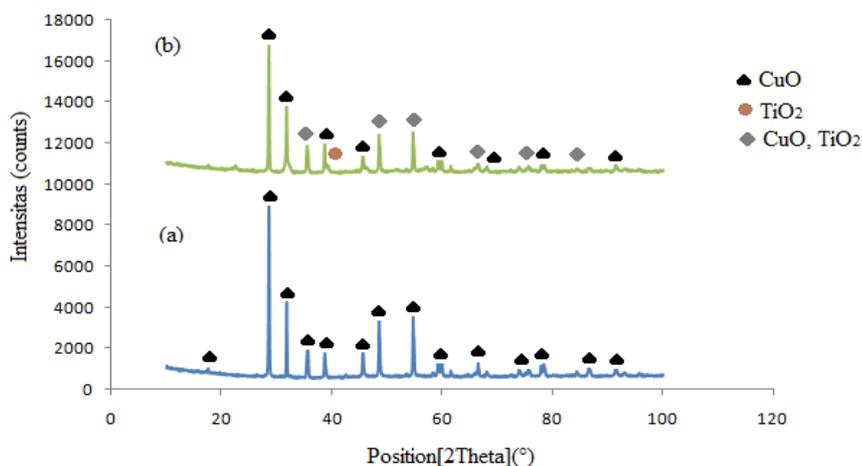


**Gambar 4** Grafik waktu respon

Pengukuran arus untuk menentukan waktu respon dilakukan tiap 3 s di lingkungan udara hingga stabil, kemudian setelah di udara dilanjutkan dengan mengalirkan gas hidrogen sampai didapatkan nilai arus yang stabil. Sampel berada pada lingkungan udara hingga kuat arus stabil, kuat arus stabil sampai 48 s. Gas hidrogen dialirkan dan terjadi peningkatan kuat arus yang signifikan. Sampel dibiarkan hingga kuat arus stabil pada 90 s. Nilai waktu respon didapatkan pada rentang waktu ketika sampel mulai di aliri gas hidrogen sampai kuat arus menjadi stabil. Dari hasil pengukuran didapatkan waktu respon 42 s.

### 3.5 Karakteristik XRD

Hasil XRD menunjukkan bahwa pada sampel CuO + 6% mol TiO<sub>2</sub> terdapat puncak-puncak baru yaitu ZnO dan CuO•TiO<sub>2</sub>. Munculnya puncak-puncak baru ini berarti terbentuknya menunjukkan terbentuknya senyawa baru. Penambahan TiO<sub>2</sub> mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal pada kedua sampel dihitung dengan menggunakan Persamaan 4, ukuran kristal 100% mol CuO yaitu 128,21 nm. Ukuran kristal sampel CuO + 6% mol TiO<sub>2</sub> adalah 143,40 nm, hal ini menunjukkan bahwa doping dapat memperbesar ukuran kristal. Hasil XRD juga mempengaruhi struktur kristal dimana senyawa TiO<sub>2</sub> dan CuO•TiO<sub>2</sub> memiliki sistem kristal tetragonal sedangkan CuO dengan sistem kristal monoklinik.



**Gambar 5** Hasil uji difraksi sinar-X pada sampel CuO tanpa doping dan CuO + 6% mol TiO<sub>2</sub>  
(a) CuO 100% mol (b) CuO 94% mol + 6% mol TiO<sub>2</sub>

#### IV. KESIMPULAN

Pengujian sensor gas semikonduktor yang telah dibuat mampu membedakan antara kondisi di lingkungan udara dengan kondisi di lingkungan hidrogen. Nilai sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel 94% mol CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> yaitu 2,80 pada bias maju, menggunakan tegangan operasional 9 Volt pada temperatur ruang. Nilai konduktivitas di lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan di lingkungan udara. Nilai Konduktivitas tertinggi terdapat pada sampel 94% mol CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> yaitu  $19,65 \times 10^{-5}/\Omega\text{m}$  pada lingkungan hidrogen. Waktu respon pada sampel 94% mol CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> dengan lama waktu respon yaitu 42 s pada tegangan operasional 9 Volt. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal CuO didoping 6% mol TiO<sub>2</sub> yaitu 143,40 nm lebih besar dibandingkan dengan CuO tanpa doping yaitu sebesar 128,21 nm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Cotton, F.A., dan Wilkinson, G., 1989, Kimia Organik Dasar, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Hamdan, H.H., dan Mohammed, G.H., 2016, Hydrogen Gas Sensing Properties of AgNPs-Doped Titania Nanotubes by Electroless Deposition, International Journal of Science and Research (IJSR), Vol.5, No.2, Physics Department, College of Science, Baghdad University.
- Hendri, dan Elvaswer, 2012, Karakterisasi TiO<sub>2</sub>(CuO) yang Dibuat dengan Metoda Keadaan Padat (Solid State Reaction) sebagai Sensor Gas CO<sub>2</sub>, Jurnal Fisika Unand (JFU), Vol.1, No.1, Jur. Fisika Unand.
- Jung, S.J., dan Yanasida, H., 1996, The characterization of a CuO/ZnO heterocontact type gas sensor having selectivity for CO gas. Sensor and Actuator B, Elsevier, Vol. 37, hal 55-60.
- Li, Z., Ding, D., Liu, Q., dan Ning, C., 2013, Hydrogen Sensing With Ni-Doped TiO<sub>2</sub> Nanotubes, Open Access Sensors, Journal, Hal. 8393-8402.
- Nopriyanti, R., 2012, Sintesis Lapisan Tipis SnO<sub>2</sub> dalam Aplikasinya sebagai Sensor Gas CO dan Pengujian Sensitivitas, Skripsi, Jur. Pendidikan Fisika UPI, Bandung.
- Patil, A., Dighavkar, C., dan Borse, R., 2011, Al Doped ZnO Thick Films as CO<sub>2</sub> Gas Sensors, Journal of Optoelectronics and Advanced Material, Volume 13, Number 10, hal 1331-1337.
- Rusdiana, D., 2013, Pembuatan Sensor Gas Hidrogen Berbasis Film Tipis GaN dengan Teknik Sol Gel Spin Coating Untuk Komponen Pada Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas, Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia (JPFI), Jur. Pendidikan Fisika UPI, Bandung.
- Sisman, O., Kilinc, N., dan Ozturk, Z.Z., 2016, Structural, Electrical and H<sub>2</sub> Sensing Properties of Copper Oxide Nanowires on Glass Substrate by Anodization, Sensors and Actuators B, Elsevier, hal 1118-1125.
- Wismadi, T., 2001, Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Tipis Copper Oxide (CuO) Sebagai Sensor Gas, Skripsi, Jur. Fisika IPB, Bogor.
- Yadav, B.C., Yadav, A., Shukla, T., dan Sigh, S., 2011, Solid-State Titania-Based Gas Sensor For Liquefied Petroleum Gas Detection At Room Temperature, Department of Physics, University of lucknow, India