

KARAKTERISASI *I-V* SEMIKONDUKTOR HETEROKONTAK CuO/ ZnO(TiO₂) SEBAGAI SENSOR GAS HIDROGEN

Mardiah dan Elvaswer

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163
e-mail: sinagamardiah@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas hidrogen berupa pelet heterokontak dengan lapisan pertama pelet adalah 100% mol CuO dan lapisan kedua pelet adalah ZnO yang didoping 2% mol, 4% mol, 6% mol, 8% mol dan 10% mol TiO₂. Tahap pembuatan sensor hidrogen terdiri atas pencampuran bahan, kalsinasi pada temperatur 500 °C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi, dan sintering pada temperatur 600 °C selama 4 jam. Sensor hidrogen diuji pada temperatur ruang dengan melihat karakteristik arus dan tegangan (*I-V*), nilai sensitivitas, nilai konduktivitas, waktu respon dan karakterisasi XRD. Karakteristik *I-V* menunjukkan perubahan terbesar terjadi pada sampel CuO/ZnO(4% mol TiO₂). Nilai sensitivitas tertinggi dimiliki sampel CuO/ZnO(4% mol TiO₂) sebesar 14,42 pada tegangan 30 volt. Nilai konduktivitas tertinggi dimiliki sampel CuO/ZnO(4% mol TiO₂) dengan nilai konduktivitas di udara $2,14 \times 10^{-5}$ / m dan nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen adalah $2,76 \times 10^{-5}$ / m. Waktu respon sampel CuO/ZnO (4% mol TiO₂) adalah 48 detik. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal sampel ZnO + 4% mol TiO₂ lebih besar daripada sampel ZnO murni. Campuran 96% mol ZnO + 4% mol TiO₂ telah terbentuk senyawa baru yaitu Zn₂TiO₄.

Kata kunci : heterokontak, karakterisasi *I-V*, sensitivitas, sensor hidrogen, waktu respon

ABSTRACT

Hydrogen gas sensor in the form of hetero-contact pellet has been characterized. The first layer of the sensor is pure CuO and the second is ZnO doped TiO₂ at various mol (2, 4, 6, 8 and 10%). The steps of manufacturing process are the mixing of materials, calcination at 500 °C for 4 hours, blending, compaction, and sintering at 600 °C for 4 hours. The sensor was tested at room temperature through current (I) - voltage (V) characteristics, sensitivity, conductivity, response time and XRD characterization. The most significant change of *I-V* characteristic is for the sample of CuO/ZnO(4% mol of TiO₂). The highest sensitivity is 14.42 at 30 volt. The sample of CuO/ZnO(4% mol of TiO₂) also has the highest conductivity at $2,14 \times 10^{-5}$ / m and $2,76 \times 10^{-5}$ / m in air and the hydrogen respectively. The response time of sample CuO/ZnO(4% mol of TiO₂) is 48 s. The XRD result shows that the crystal size of the sample with 96% mol of ZnO and 4% mol of TiO₂ is larger than that of pure ZnO. Sample with the combination of 96% mol of ZnO and 4% mol of TiO₂, a new compound (Zn₂TiO₄) has been formed.

Keyword : hetero-contact, *I-V* characteristic, sensitivity, hydrogen sensor, response time

1. Pendahuluan

Gas hidrogen merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek dalam industri otomotif, misalnya digunakan sebagai bahan bakar. Bahan bakar hidrogen tidak menimbulkan polusi udara dibandingkan dengan bahan bakar fosil, selain digunakan sebagai bahan bakar hidrogen juga dapat dimanfaatkan sebagai pendingin pada generator pembangkit listrik. Gas hidrogen akan meledak apabila disulut dengan api ketika bercampur dengan oksigen dan akan meledak pada suhu 560°C. Hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat oleh mata manusia sehingga sulit mendeteksi terjadinya kebocoran gas hidrogen secara visual. Sensor hidrogen diperlukan sebagai keamanan jika terjadi kebocoran gas.

Bahan ZnO telah banyak digunakan sebagai bahan sensor gas, karena ZnO merupakan bahan yang mempunyai stabilitas termal yang baik, sensitivitas yang tinggi dan temperatur kerja yang sedang (Cao dkk., 2009). Bahan TiO₂ merupakan bahan yang akan digunakan sebagai pendoping ZnO. Bahan TiO₂ memiliki beberapa kelebihan diantaranya harga yang relatif murah, tidak beracun, memiliki stabilitas termal yang cukup baik, memiliki sifat permukaan yang mudah bereaksi secara kimia dan memiliki sifat listrik yang baik sehingga banyak digunakan dalam penelitian sensor gas. Bahan CuO memiliki sifat serapan yang cukup baik dan sifat kimia yang sesuai untuk aplikasi katalis dan sensor gas (Wismadi, 2001).

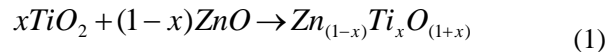
Penelitian tentang sensor gas hidrogen sebelumnya telah dilakukan oleh Aygun dan Cann (2005) yang telah melakukan karakterisasi gas hidrogen dari bahan semikonduktor heterokontak CuO/ZnO. Hasilnya menunjukkan sampel 2,5% mol Ni yang didoping dengan CuO/ZnO memiliki sensitivitas sebesar 6,4 pada tegangan 0-20 volt. Widanarto dkk. (2011) juga telah melakukan penelitian dari bahan semikonduktor heterokontak Si/Ti didoping dengan Pt menggunakan metoda film tipis, hasilnya menunjukkan bahwa waktu respon sebesar 43,2 s. Liu dkk. (2015) juga telah melakukan penelitian sensor gas hidrogen dari bahan MoS₂/Si heterokontak, didapatkan waktu respon sebesar 105 s pada arus 0,4 mA dan 1,3 mA dengan tegangan sebesar -5 V dan 5 V, maka akan dilakukan penelitian karakterisasi *I-V* bahan semikonduktor heterokontak CuO/ZnO didoping dengan TiO₂ sebagai sensor gas hidrogen. Sensor dari bahan tersebut diharapkan dapat memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas hidrogen dan dapat beroperasi pada temperatur ruang.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengukur nilai arus pada saat pemberian tegangan pada bahan semikonduktor CuO/ZnO didoping dengan TiO₂, menggunakan metoda reaksi keadaan padat (*Solid State Reaction*) untuk mendapatkan nilai sensitivitas serta mengukur waktu responnya. Mengkarakterisasi CuO/ZnO(TiO₂) dengan menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) untuk menentukan ukuran kristal pada sampel. Manfaat dari penelitian ini dibidang instrumentasi sebagai rujukan membuat bahan sensor yang dapat mendeteksi kebocoran gas hidrogen dengan sensitivitas yang tinggi untuk mencegah ledakan yang dapat menimbulkan kebakaran.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Persiapan Pembuatan Pelet

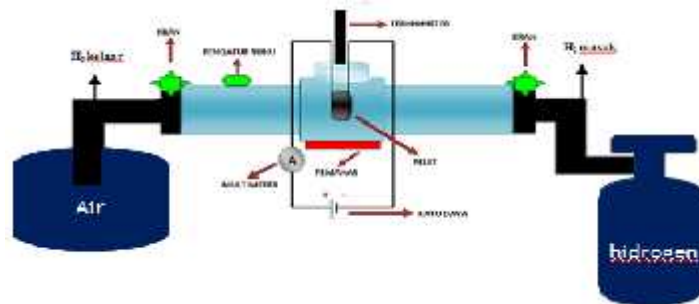
Bahan CuO, ZnO dan TiO₂ disiapkan. Bahan CuO disiapkan dengan massa 0,5 gram tanpa didoping dengan bahan lain, sedangkan bahan ZnO didoping dengan TiO₂ dengan persentase doping 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dengan total massa 0,5 gram. Komposisi ZnO dengan TiO₂ dihitung berdasarkan reaksi kimia seperti Persamaan 1.



dengan x adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol.

Setelah komposisi massa sampel disiapkan, bahan ZnO kemudian dicampurkan dengan TiO₂ lalu bahan sampel digerus, kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C. Bahan digerus kembali setelah dikalsinasi agar butir-butir bahan yang menggumpal menjadi lebih halus, lalu bahan tersebut kemudian dikompaksi sehingga berbentuk pelet. Diameter pelet sebesar 12 mm dan ketebalannya sebesar 3 mm, kemudian pelet di sintering pada suhu 600 °C selama 4 jam.

2.2. Pengukuran Nilai $I-V$



Gambar 1 Skema rangkaian alat pengujian sensor hidrogen
(Sumber: Basthoh, 2013)

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.

Pengukuran karakteristik $I-V$ akan menentukan nilai sensitivitas sensor dan nilai konduktivitas sensor. Sensitivitas menunjukkan seberapa sensitif sensor dalam mendeteksi suatu zat. Nilai sensitivitas dapat ditentukan dengan Persamaan 2.

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

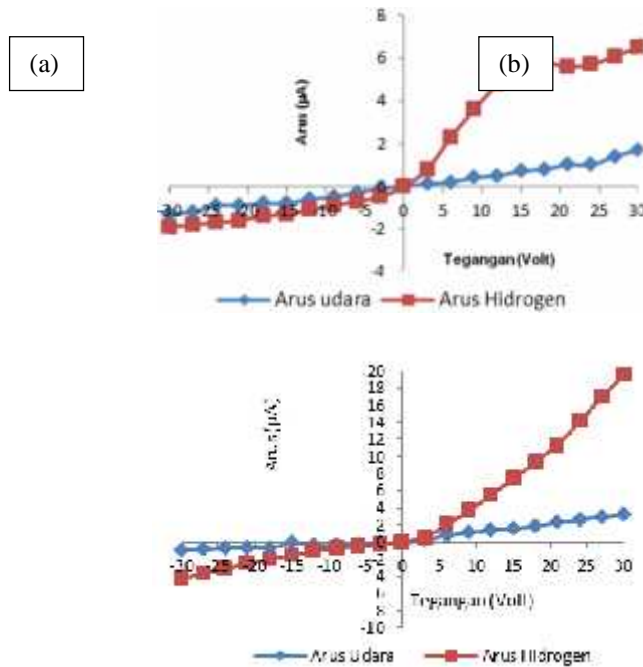
Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dari Persamaan 3.

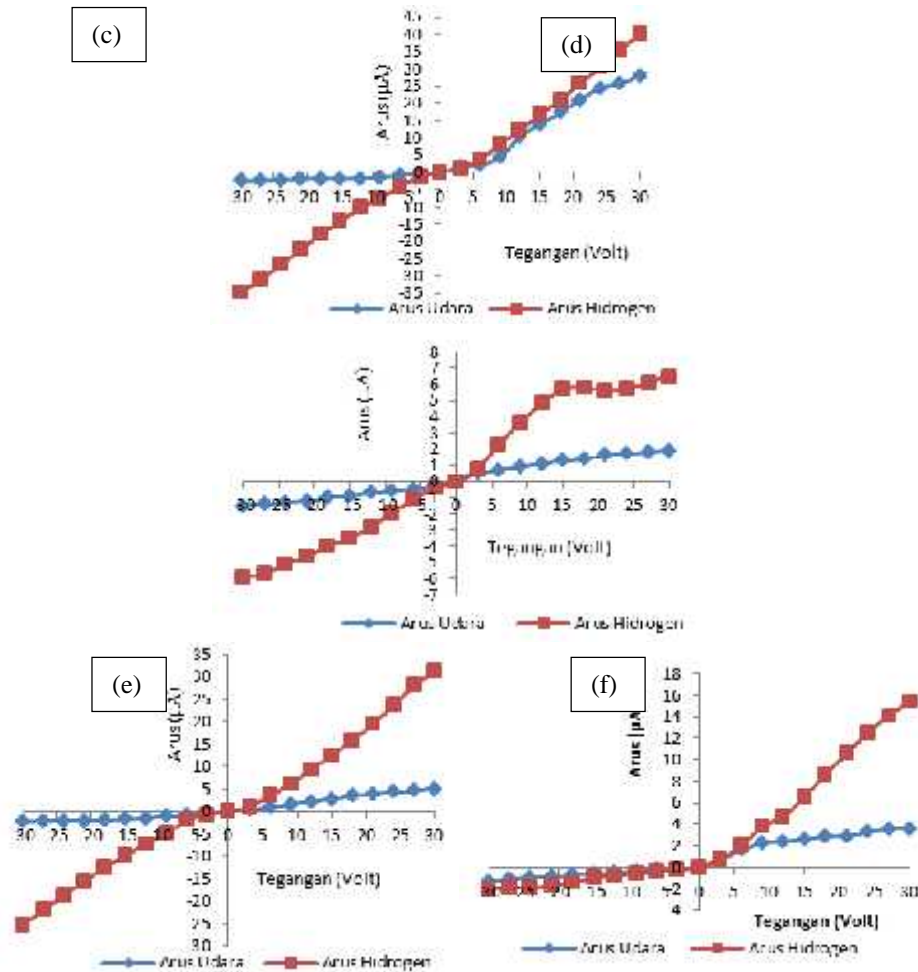
$$\dagger = \frac{L}{RA} \quad (3)$$

Waktu respon untuk melihat lama waktu yang dibutuhkan bagi sampel untuk mengalami perubahan arus dari lingkungan udara ke lingkungan gas hidrogen dan karakterisasi XRD dilakukan pada sampel yang memiliki sensitivitas tertinggi, dilakukan untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Karakteristik I - V

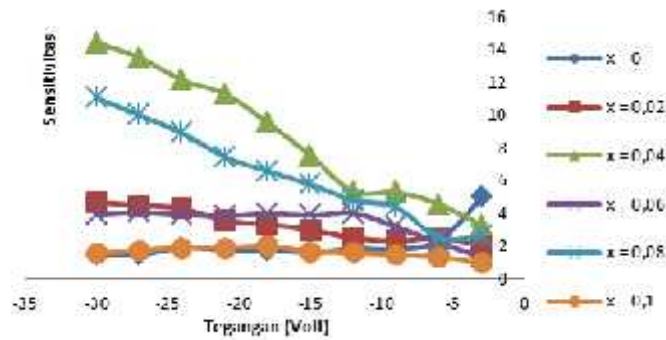




Gambar 2 karakteristik I-V (a) sampel CuO/ZnO, (b) sampel CuO/ZnO + 2 % mol TiO₂, (c) sampel CuO/ZnO + 4 % mol TiO₂, (d) sampel CuO/ZnO + 6 % mol TiO₂, (e) sampel CuO/ZnO + 8 % mol TiO₂, dan (f) sampel CuO/ZnO + 10 % mol TiO₂

Grafik *I-V* menunjukkan nilai arus pada lingkungan hidrogen lebih tinggi daripada lingkungan udara, hal ini dikarenakan lapisan deplesi akan mengecil ketika dialiri gas hidrogen, sehingga elektron akan mudah berpindah ke pita konduksi maka nilai arus pada lingkungan hidrogen akan meningkat. Nilai arus tertinggi pada lingkungan hidrogen terdapat pada sampel CuO/ ZnO yang didoping dengan 4% mol TiO₂ yaitu sebesar 40,1 μA pada tegangan 30 volt.

3.2. Karakteristik Sensitivitas



Gambar 3 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa sensitivitas tertinggi didapatkan pada sampel CuO/ZnO doping 4% mol TiO₂ yaitu sebesar 14,42 pada tegangan -30 volt. Hal ini disebabkan oleh doping 4% mol merupakan doping yang banyak terjadi reaksi oksida dengan hidrogen sehingga banyak melepaskan elektron dan memperkecil energi gap maka arusnya akan meningkat dan sensitivitasnya juga meningkat, sedangkan sensitivitas terendah didapatkan pada sampel CuO/ZnO + 10% mol TiO₂, hal ini disebabkan oleh doping yang berlebihan mengakibatkan overlap sehingga reaksi hidrogen dengan oksida menurun.

3.3. Karakteristik Konduktivitas

Nilai konduktivitas pada lingkungan hidrogen lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan udara. Nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan udara yaitu sampel CuO/ZnO didoping 4% mol TiO₂ dengan nilai konduktivitasnya adalah $2,14 \times 10^{-5} / m$, hal ini disebabkan karena pada sampel CuO/ZnO + 4% mol TiO₂ banyak terjadi reaksi antara gas-gas yang terkandung di udara dengan oksida. Nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan hidrogen juga terdapat pada sampel CuO/ZnO doping 4% mol TiO₂ yaitu $2,76 \times 10^{-5} / m$, hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi antara hidrogen dengan oksida dan dipengaruhi oleh penambahan doping yang dapat memperkecil daerah deplesi. Perubahan nilai konduktivitas sebelum dan sesudah dialiri gas hidrogen masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perubahan konduktivitas pada lingkungan udara dan hidrogen

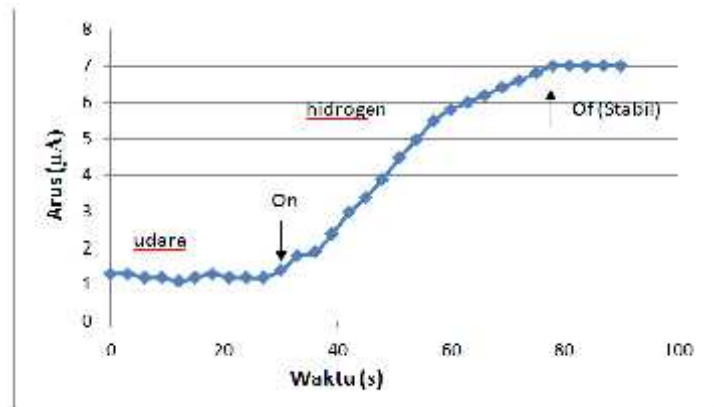
Sampel	Konduktivitas ($10^{-5} / m$)	
	Lingkungan Udara	Lingkungan Hidrogen
CuO/ ZnO	0,12	0,82
CuO/ ZnO (2% mol TiO ₂)	0,30	1,28
CuO/ ZnO (4% mol TiO ₂)	2,14	2,76
CuO/ ZnO (6% mol TiO ₂)	0,24	0,82
CuO/ ZnO (8% mol TiO ₂)	0,46	2,16
CuO/ ZnO (10% mol TiO ₂)	0,48	1,16

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai konduktivitas masing-masing sampel di lingkungan udara lebih rendah dibandingkan lingkungan hidrogen, hal ini dikarenakan ketika oksida

bereaksi dengan hidrogen akan melepaskan elektron bebas sehingga arus meningkat dan hambatannya menurun sehingga nilai konduktivitas meningkat.

3.4. Karakteristik Waktu Respon

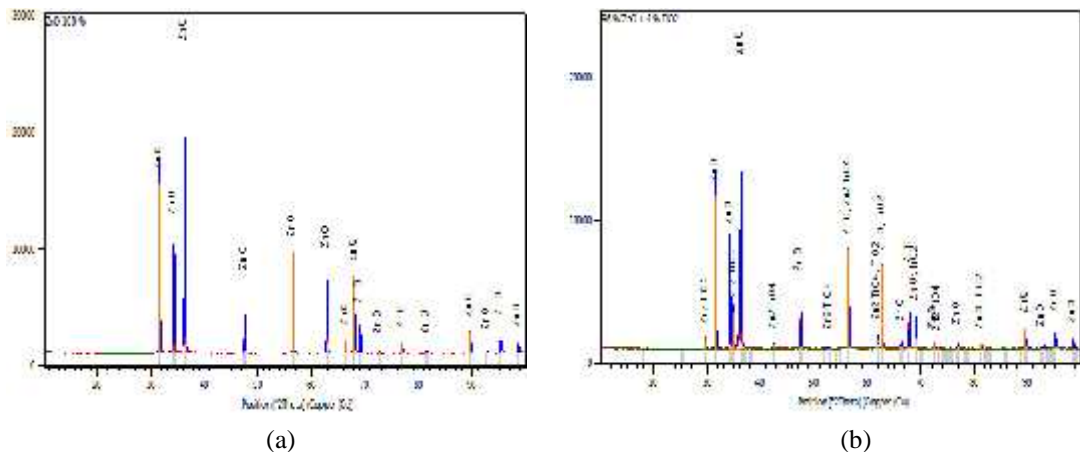
Waktu respon diukur pada sampel yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi yaitu sampel CuO/ZnO + 4 % mol TiO₂ dengan tegangan 30 volt.



Gambar 4 Waktu respon sampel CuO/ZnO + 4% mol TiO₂

Pengukuran waktu respon pada sampel dilakukan dalam selang waktu tiap 3 detik di lingkungan udara, setelah dilakukan di lingkungan udara dilanjutkan dengan mengalirkan gas hidrogen sampai didapatkan nilai arus stabil. Arus stabil pada detik ke-30 pada lingkungan udara, kemudian gas hidrogen dialirkan terjadi peningkatan arus secara signifikan hingga pada detik ke-78 arus kembali stabil. Waktu respon yang diperoleh pada sampel yaitu 48 detik.

3.5. Karakteristik XRD



Gambar 5 Pola difraksi sinar-x pada (a) sampel CuO/ZnO, dan (b) sampel CuO/ZnO + 4 % mol TiO₂

Hasil XRD menunjukkan bahwa pada sampel ZnO + 4% mol TiO₂ terdapat puncak-puncak baru yaitu Zn₂TiO₄. Munculnya puncak baru ini berarti terbentuknya senyawa yang baru yaitu Zn₂TiO₄. Penambahan TiO₂ mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal pada kedua sampel dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer, ukuran kristal 100% ZnO yaitu 130,77 nm. Ukuran kristal sampel ZnO + 4% mol TiO₂ adalah 192,84 nm, hal ini menunjukkan bahwa doping dapat memperbesar ukuran kristal. Efek doping yaitu terjadinya pertumbuhan kristal, berdasarkan grafik terlihat jelas bahwa doping dapat merubah struktur serta terbentuknya senyawa baru Zn₂TiO₄ dengan sistem kristal kubik sedangkan ZnO dengan sistem kristal hexagonal.

4. KESIMPULAN

Sensor mampu membedakan kondisi lingkungan udara dengan lingkungan hidrogen dengan meningkatnya arus pada lingkungan hidrogen. Nilai sensitivitas tertinggi diperoleh pada sampel CuO/ZnO doping 4% mol TiO₂ sebesar 14,42. Konduktivitas di lingkungan udara sebesar $2,14 \times 10^{-5} / \text{m}$ dan konduktivitas pada lingkungan hidrogen sebesar $2,76 \times 10^{-5} / \text{m}$. Waktu respon sampel CuO/ZnO + 4% mol TiO₂ pada tegangan 30 volt adalah 48 detik. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya senyawa baru yaitu Zn₂TiO₄ dan ukuran kristal ZnO doping 4% mol TiO₂ lebih besar dibandingkan dengan ZnO tanpa doping.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aygun, S. dan Cann, D., 2005, Hydrogen Sensitivity of Doped CuO/ZnO Heterocontact sensors, *Elsevier*, 106, 837-842.
2. Basthoh, E., 2013, Karakterisasi ZnO Didoping TiO₂ untuk Detektor LPG, *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, 5:1, 11-15.
3. Cao, Y., Pana, W., Zonga, Y dan Dianzeng, J, 2009, Preparation and Gas-Sensing Properties of Pure and Nd-doped ZnO Nanorods by Low-Heating Solid-State Chemical Reaction, *Sensors and Actuators B*.
4. Liu, Y., Hao, L., Gao, W., Wu, Z., Lin, Y., Li, G., Guo, W., Yu, L., Zeng, H., Zhu, J., dan Zhang, W., 2015, Hydrogen Gas Sensing Properties of MoS₂/Si Heterojunction, *Elsevier*, 211, 537-543.
5. Widanarto, W., Abdullatif, F., Senft, C., dan Hansch, W., 2011, Effect of Annealed Si/Ti(Pt) Hetero Structure on The Respon Time and Signal of Hydrogen Sensors, *Indonesian Journal of Physics*, 22:1, 17-21.
6. Wismadi, T., 2001, Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Tipis Copper Oxide Sebagai Sensor Gas, *Skripsi S-1*, Institut Pertanian Bogor.