

KARAKTERISASI SEMIKONDUKTOR TiO_2 (ZnO) SEBAGAI SENSOR LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG)

Fracia Deswardani, Elvaswer

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163
e-mail: ticades@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi sensor *liquefied petroleum gas* (LPG) berupa pelet dengan bahan utama TiO_2 didoping oleh ZnO. Pelet sensor LPG dibuat dengan variasi doping ZnO 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap bahan utama TiO_2 . Proses pembuatan material sensor LPG terdiri dari beberapa langkah yaitu pencampuran bahan, kalsinasi pada temperatur 800°C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi, dan sintering pada temperatur 900°C selama 4 jam. Sensor LPG diuji pada temperatur ruang (30°C) dengan melihat karakteristik I-V, nilai sensitivitas, dan nilai konduktivitas. Karakteristik I-V menunjukkan perubahan terbesar terjadi pada sampel $\text{TiO}_2+10\%$ ZnO. Nilai sensitivitas tertinggi dimiliki sampel $\text{TiO}_2+10\%$ ZnO sebesar 10,00 pada tegangan 21 Volt. Nilai konduktivitas tertinggi yaitu $1,8157 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ pada sampel tanpa doping, lebih tinggi dibandingkan konduktivitas tertinggi sampel yang diberi doping yaitu $0,1045 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$.

Kata kunci : Sensor LPG, $\text{TiO}_2(\text{ZnO})$, karakterisasi I-V, sensitivitas, konduktivitas

ABSTRACT

The synthesis and characterization of liquefied petroleum gas (LPG's) sensor pellet with the main ingredient TiO_2 doped by ZnO has been performed. Doped variations of pellet are 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% mol ZnO adding to TiO_2 . The process of making LPG sensor material consist of several steps, namely mixed of materials, calcinations at 800°C for 4 hours, blended, compacted, and sintered at 900°C for 4 hours. LPG sensor was investigated at room temperature (30°C) to observe the I-V characteristic, sensitivity, and conductivity. I-V characteristic shows the greatest change at $\text{TiO}_2+10\%$ ZnO sample with a sensitivity of 10.00 at 21 Volt. Highest conductivity value is $1.8157 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ on the pure TiO_2 sample, higher than conductivity of TiO_2 doped by ZnO sample is $0.1045 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$.

Keywords : LPG sensor, $\text{TiO}_2(\text{ZnO})$, I-V characteristic, sensitivity, conductivity

I. PENDAHULUAN

Teknologi sensor saat ini sudah banyak dikembangkan, salah satunya adalah sensor gas. Indonesia saat ini sering terjadi ledakan LPG yang menyebabkan korban jiwa dan harta. Kebocoran LPG sulit diketahui secara cepat, maka sangat dibutuhkan sensor yang dapat mendeteksinya. Sensor gas sudah banyak dikembangkan dengan menggunakan bahan semikonduktor logam oksida, seperti TiO_2 , ZnO, CuO, dan lain-lain. Kelebihan sensor gas dengan bahan semikonduktor logam oksida adalah biaya yang lebih murah, dapat dibuat dengan metode sederhana, dan dapat diproduksi secara massal (Hendri, 2012). Sensor gas biasanya dibuat berupa film tipis, film tebal, dan pelet. Pada penelitian ini sensor gas semikonduktor metal oksida dibuat dengan metode keadaan padat atau dalam bentuk pelet.

Saat ini penelitian bahan sensor gas semikonduktor logam 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 logam oksida pada temperatur ruang (30°C) masih sangat sedikit. Sensor gas yang dapat bekerja pada temperatur ruang merupakan sensor gas yang tidak membutuhkan energi besar untuk dapat mendeteksi gas, sehingga akan sangat bagus apabila dapat mengetahui bahan sensor gas yang mampu bekerja pada temperatur ruang.

TiO_2 dikenal sebagai material logam oksida yang memiliki kemampuan sensor yang menjanjikan. TiO_2 memiliki sifat fisik berupa permukaan kimia, transfer muatan, dan sifat listrik yang baik sehingga banyak digunakan dalam penelitian sensor gas. Pembuatan sensor LPG menggunakan bahan TiO_2 sebelumnya pernah dilakukan oleh Yadav dkk. (2011). Sensor LPG berupa pelet TiO_2 , diuji cobakan mendeteksi LPG pada temperatur ruang.

Kemampuan sensor gas dapat ditingkatkan dengan memberi doping, dapat berupa logam mulia atau logam oksida. Doping dengan logam mulia membutuhkan biaya yang lebih mahal dan cukup sulit diperoleh dibandingkan bahan logam oksida. Bahan doping yang digunakan adalah ZnO yang merupakan salah satu bahan metal oksida. ZnO dikenal memiliki stabilitas yang baik, sensitivitas yang tinggi, pembuatan yang murah, sifat listrik yang dibutuhkan sebagai sensor gas, dan temperatur kerja yang sedang. Yadav dkk. (2012) sebelumnya sudah mengamati kemampuan ZnO sebagai sensor LPG pada temperatur ruang. Sensor LPG memiliki sensitivitas rata-rata sekitar 5.

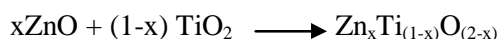
Penelitian Yadav dkk. (2011) dan Yadav dkk. (2012) menunjukkan kemampuan TiO₂ dan ZnO sebagai sensor LPG. Komposit ZnO(TiO₂) sebagai detektor LPG juga sudah diamati oleh Basthoh (2013). Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada pelet ZnO didoping 3% TiO₂ yaitu 3,0769. Penelitian ini masih mengamati temperatur kerja sensor diatas temperatur ruang yaitu 85°C.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis dan karakterisasi sensor LPG dengan bahan dasar TiO₂ dan doping ZnO. Pengamatan terhadap karakterisasi I-V, sensitivitas dan konduktivitas pada pelet TiO₂ didoping ZnO dapat menunjukkan kemampuan sensor dan diharapkan sensor LPG ini dapat beroperasi pada temperatur ruang.

II. METODE

2.1 Persiapan dan Pembuatan Pelet TiO₂ Didoping ZnO

Sampel dibuat dengan lima variasi persentase doping ZnO yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap bahan dasar TiO₂. Ukuran sampel pelet yang diuji berdiameter 10 mm dan tebal 4 mm. Berikut reaksi kimia yang terjadi pada pelet (Basthoh, 2013; Hendri, 2012):



dengan x adalah jumlah doping yang ditambahkan dalam mol.

Bahan sampel digerus selama kurang lebih 2 jam hingga diperkirakan sudah homogen, kalsinasi dilakukan pada suhu 800°C selama 4 jam, bahan digerus kembali agar butir-butir bahan menjadi halus. Kompaksi kemudian dilakukan, setelah itu pelet disintering pada 900°C selama 4 jam (Kiran, dkk., 2008).

2.2 Pengukuran Nilai I-V sensor LPG

Pengukuran nilai I-V pada bias maju dilakukan dengan salah satu bagian elektroda sampel dihubungkan dengan kutub positif sedangkan yang lainnya dihubungkan dengan kutub negative, sedangkan pada bias mundur polaritasnya dibalik. Antara sampel dan tegangan dihubungkan ke amperemeter, sehingga arus (I) dan tegangan (V) untuk sampel diukur. Pengukuran karakteristik I-V masing-masing sampel dilakukan dengan menyusun alat seperti Gambar 1. Pada lingkungan udara dan lingkungan LPG temperatur diatur pada temperatur ruang. Pengukuran lebih dulu dilakukan pada lingkungan udara, kedua ujung pipa tidak dihubungkan dengan selang dan keran dibiarkan terbuka. Setelah semua persiapan dilakukan, sampel dirangkai secara bias maju dan kemudian dilanjutkan dengan bias mundur. Tegangan divariasikan dari -30 volt sampai 30 volt, dimulai dari 0 volt dilanjutkan dengan interval 3 volt.

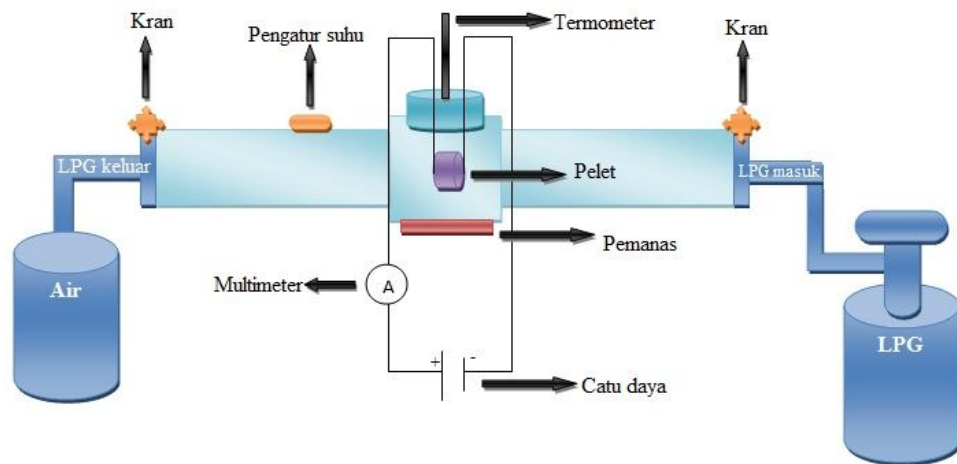
Pengukuran kemudian dilakukan pada lingkungan LPG, kedua ujung pipa dihubungkan dengan selang sehingga LPG dapat mengalir melewati sampel yang telah dipasang pada tempat sampel. Besar aliran LPG yang melewati dilihat dari seberapa banyak gelembung gas yang mengalir masuk ke air selama satu menit, pada penelitian ini sebanyak 109 gel/det.

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.

$$S = \frac{I_{Udara}}{I_{LPG}} \tag{1}$$

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

$$\sigma = \frac{L}{RA} \tag{2}$$

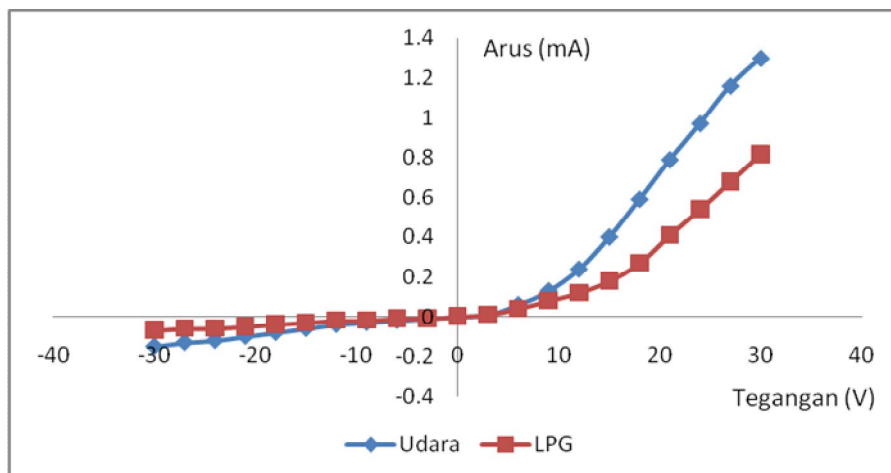


Gambar 1 Skema rangkaian alat pengujian sensor LPG (Sumber: Basthoh, 2013)

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik I-V Sampel pada Lingkungan Udara dan LPG

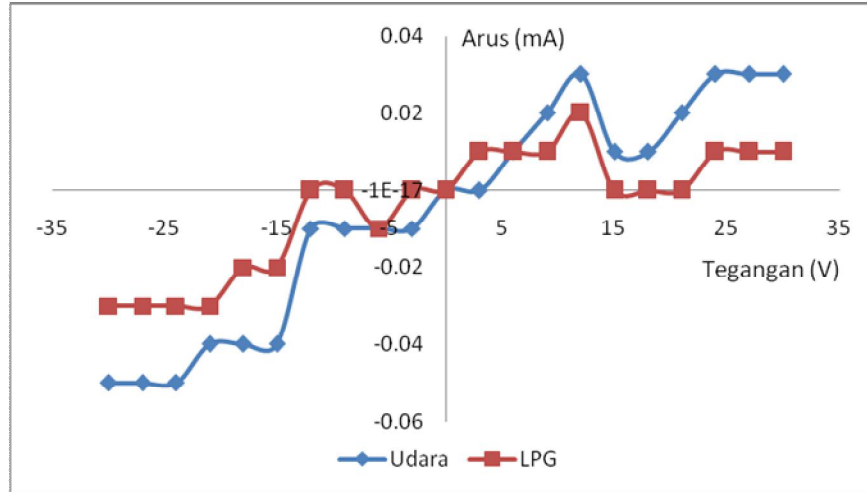
Karakteristik I-V masing-masing sampel baik pada lingkungan udara dan lingkungan LPG dapat diamati dengan mengukur arus dan tegangan. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada temperatur ruang (30°C). karakteristik I-V untuk sampel TiO₂ murni ditunjukkan pada Gambar 2, dan untuk sampel TiO₂ didoping 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% mol ZnO, berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



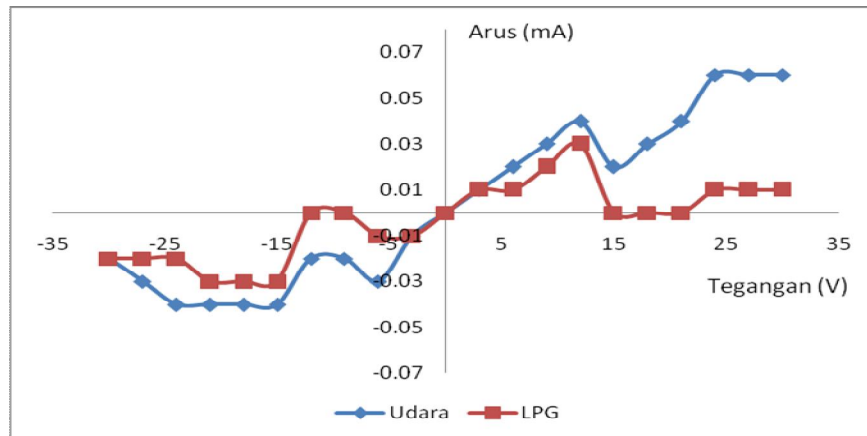
Gambar 2 Grafik I-V sampel TiO₂ 100%

Perbedaan arus pada lingkungan udara dan LPG menunjukkan bahwa arus pada lingkungan udara lebih besar dibandingkan arus pada lingkungan LPG. Ketika LPG bereaksi

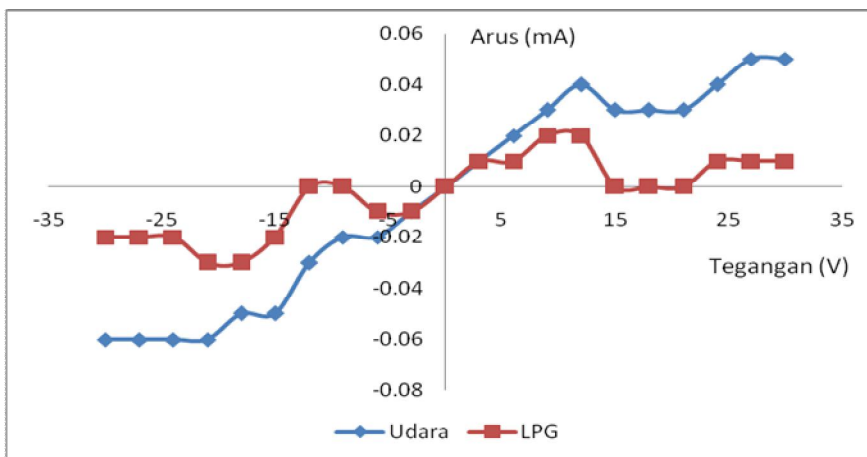
dengan oksigen teradsorpsi pada permukaan sampel TiO_2 terjadi reaksi reduksi sehingga elektron sulit melewati energi gap mengakibatkan terjadinya penurunan arus, sehingga I-V pada lingkungan LPG lebih rendah jika dibandingkan dengan udara. Penurunan arus juga disebabkan oleh pengaruh temperatur kerja yang diamati yaitu pada temperatur ruang. Menurut Solikha (2011) bila sensor gas dengan temperatur kerja di bawah 100°C akan sulit mengalami peningkatan arus, karena temperatur sangat mempengaruhi sifat listrik semikonduktor.



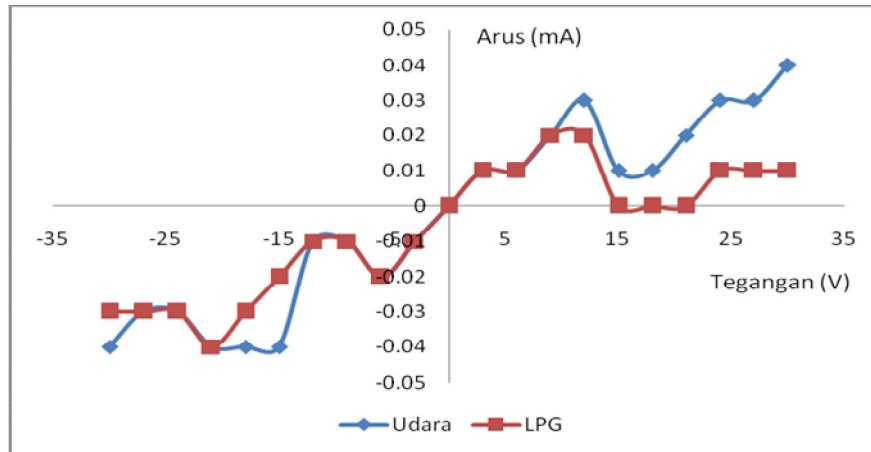
Gambar 3 Grafik I-V sampel $\text{TiO}_2 + 2\% \text{ZnO}$



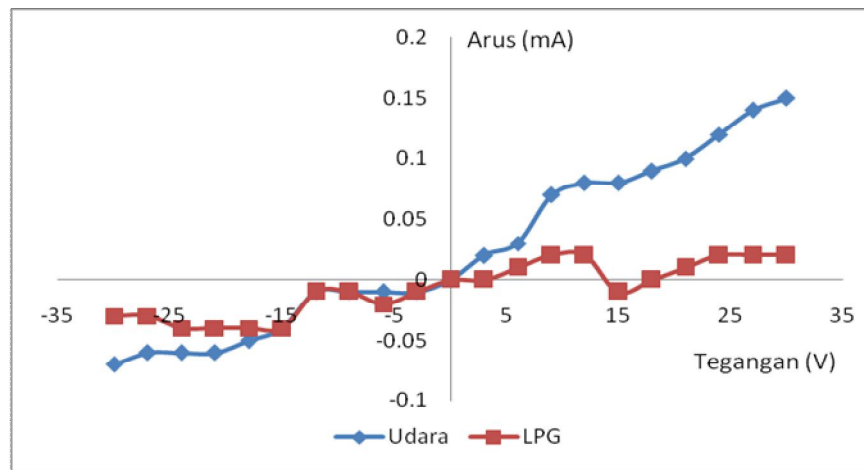
Gambar 4 Grafik I-V sampel $\text{TiO}_2 + 4\% \text{ZnO}$



Gambar 5 Grafik I-V sampel $\text{TiO}_2 + 6\% \text{ZnO}$

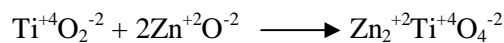


Gambar 6 Grafik I-V sampel TiO₂ + 8% ZnO



Gambar 7 Grafik I-V sampel TiO₂ + 10% ZnO

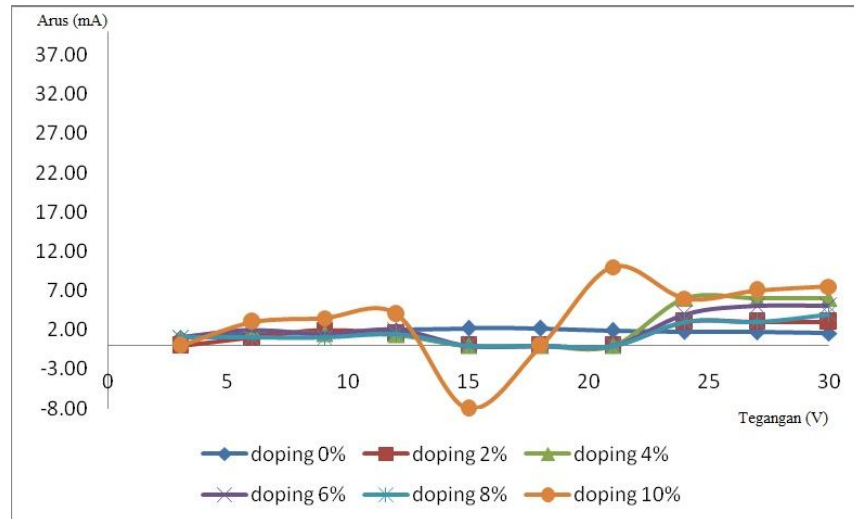
Pada semua sampel menghasilkan besar arus lingkungan LPG yang lebih rendah dibandingkan arus lingkungan udara. Hasil tersebut disebabkan adanya reaksi LPG dengan oksigen teradsorpsi pada sampel. Reaksi reduksi menyebabkan elektron mengalami kesulitan melewati energi gap. Sulitnya elektron melewati energi gap akan mempengaruhi arus yang mengalir pada sampel. Pada sampel pendopingan ZnO yang memiliki 2 elektron valensi terhadap bahan utama TiO₂ dengan 4 elektron valensi akan menghasilkan kelebihan 2 hole. Semikonduktor TiO₂ terdiri atas Ti⁺⁴ dan O₂⁻², sedangkan ZnO terdiri atas Zn⁺² dan O⁻². Proses pendopingan ZnO terhadap TiO₂ akan terjadi reaksi:



dari reaksi tersebut dapat dilihat bahwa Ti⁺⁴ akan berikatan dengan O⁻² pada sampel. Selain itu, sensor LPG pada penelitian ini berupa semikonduktor tipe p-n. semikonduktor tipe-n yang memiliki kelebihan elektron di sini berupa ZnO dan semikonduktor tipe-p yang memiliki kelebihan hole adalah TiO₂. Pendopingan yang digunakan adalah ZnO dengan bahan utama TiO₂, sehingga sampel akan didominasi oleh semikonduktor tipe-p. Menurut Cirera (2000) dalam Solikha (2011) untuk semikonduktor tipe-p nilai resistansi akan bertambah ketika bereaksi dengan gas pereduksi seperti LPG. Resistansi yang meningkat mempunyai arti yang sama dengan nilai arus yang menurun, sehingga ketika sampel berada pada lingkungan LPG maka gas tersebut bereaksi dengan oksigen teradsorpsi pada sampel dan menghasilkan arus yang lebih rendah dibandingkan lingkungan udara.

3.2 Karakteristik Sensitivitas

Sensitivitas sensor LPG berbasis pelet TiO₂ didoping ZnO dapat diketahui berdasarkan karakteristik I-V yang telah diperoleh sebelumnya. Perubahan sensitivitas keenam sampel dapat dilihat pada Gambar 8.

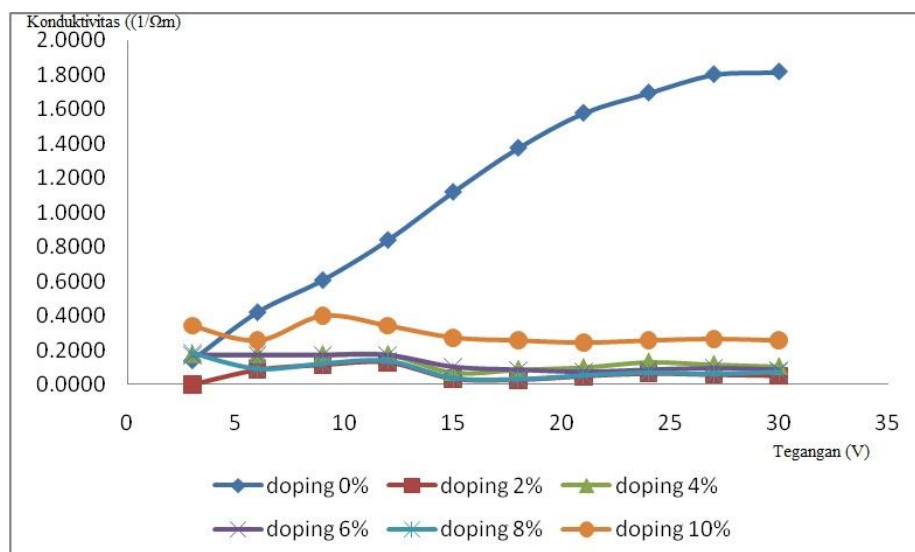


Gambar 8 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

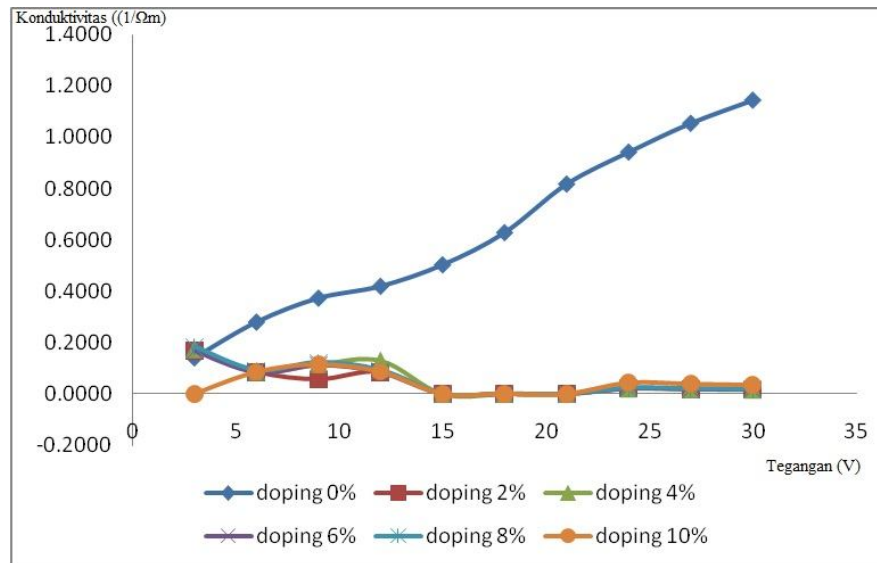
Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa besar sensitivitas masing-masing sampel cukup berdekatan terutama pada rentang tegangan 3 volt hingga 21 volt. Dalam Gambar 8 memperlihatkan sampel sesudah didoping memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa doping. Hal ini disebabkan terbentuknya 2 hole setelah TiO₂ yang merupakan bahan utama didoping dengan ZnO. Bahan dengan kelebihan hole akan bereaksi reduksi terhadap LPG sehingga terjadi penurunan arus (Solikha, 2011). Perubahan nilai arus inilah yang sangat mempengaruhi nilai sensitivitas sensor LPG.

3.3 Nilai Konduktivitas Sampel di Lingkungan Udara dan LPG

Perubahan konduktivitas pada Gambar 9 menunjukkan bahwa sampel TiO₂ 100% memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sampel-sampel lainnya. Setelah diberikan pengaruh LPG terhadap sampel dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa perubahan konduktivitas lebih rendah dari sebelumnya. Hal ini disebabkan hasil pengukuran I-V yang semakin rendah karena bahan sensor gas yang bersifat semikonduktor tipe-p.



Gambar 9 Grafik perubahan konduktivitas di lingkungan udara



Gambar 10 Grafik perubahan konduktivitas di lingkungan LPG

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sensor sudah mampu membedakan kondisi lingkungan udara dengan lingkungan LPG. Nilai sensitivitas bahan TiO_2 yang didoping dengan ZnO lebih tinggi dibandingkan dengan TiO_2 tanpa doping. Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada sampel $\text{TiO}_2 + 10\%$ ZnO yaitu 10, sedangkan sensitivitas TiO_2 tanpa doping tertinggi adalah 2,22. Konduktivitas TiO_2 tanpa doping lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas TiO_2 dengan doping ZnO. Konduktivitas pada lingkungan udara lebih tinggi dibandingkan pada lingkungan LPG. Konduktivitas tertinggi pada udara yaitu $1,8157 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ dan konduktivitas tertinggi pada LPG adalah $1,1453 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. Sensor ini memiliki kemampuan untuk dapat bekerja pada temperatur ruang, namun masih perlu diamati lebih lanjut lagi terhadap kemampuan selektivitas sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Basthoh, E., 2013, Karakterisasi ZnO Didoping TiO_2 untuk Detektor LPG, Tesis, Program Studi S-2 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang
- Hendri, 2012, Karakterisasi TiO_2 (CuO) dengan Metoda Keadaan Padat (*Solid State Reaction*) sebagai Sensor Gas CO_2 , Skripsi, Program Studi S-1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.
- Kiran, S. R., Murthy, V. R. K., dan Subramanian, V., 2008, Microwave Assisted Processing of $\text{sm}(\text{Zn}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ and ZnO- TiO_2 Dielectric Resonators, PIERS Proceedings, Cambridge, USA, Juli 2-6.
- Solikha, W., 2011, Pembuatan Sensor Gas Etanol Keramik Fe_2O_3 yang didoping 10% mol CuO dengan Menggunakan Metode Screen Printing, Skripsi, Program Studi S-1 Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., dan Gao, R., 2010, Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors, Journal Sensors, Vol. 10 ISSN 1424-8220, hal 2088-2106.
- Yadav, A., dan Yadav, B. C., 2012, A Mechanochemical Synthesis of Nanostructured Zinc Oxide Via Acetate Route for LPG Sensing, Journal of Experimental Nanoscience, ISSN 1745-8080 print/ISSN 1745-8099 online, hal 1-11.
- Yadav, B. C., Yadav, A., Shulka, T., dan Singh, S., 2011, Solid-State Titania-bases Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature, Bull. Mater. Sci., Vol. 34, No. 7, hal. 1639-1644.