

Karakterisasi Sensor Liquefied Petroleum Gas (LPG) Dari Bahan Komposit SnO₂-ZnO

Mardaleni, Elvaswer

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 20 November 2019
Direvisi: 3 Desember 2019
Diterima: 6 Desember 2019

Kata kunci:

sensor LPG
SnO₂-ZnO
Sensitivitas
Selektivitas
konduktivitas
waktu respon

Keywords:

LPG sensor
SnO₂-ZnO
Sensitivity
Selectivity
conductivity
response time

Penulis Korespondensi:

Mardaleni
Email: mardaleni35@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sensor gas LPG berbentuk pelet dari bahan komposit SnO₂ dengan ZnO. Pelet sensor gas LPG dibuat dengan komposisi yang berbeda dengan perbandingan SnO₂ dan ZnO yaitu 90%:10% mol, 70%:30% mol, 50%:50% mol, 30%:70% mol, 10%:90% mol, 100% mol SnO₂, dan 100% mol ZnO. Pembuatan sensor gas LPG diawali dengan pencampuran bahan, kalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam, penggerusan, kompaksi dan sintering pada suhu 700 °C selama 4 jam dengan menggunakan reaksi dalam keadaan padat. Sensor gas LPG diuji pada suhu ruang untuk mendapatkan karakteristik I-V, menghitung nilai sensitivitas, selektivitas, konduktivitas, waktu respon dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik I-V, sensitivitas tertinggi pada sampel 30% mol SnO₂ + 70 % mol ZnO yaitu 4,74 pada tegangan 24 Volt. Nilai selektivitas tertinggi terdapat pada sampel 50% mol SnO₂ + 50% mol ZnO yaitu 2,31 pada tegangan 24 volt. Nilai konduktivitas tertinggi dimiliki sampel 30% mol SnO₂ + 70 % mol ZnO yaitu 12,32 x 10⁻⁴/Ω.m pada lingkungan LPG. Waktu respon sampel 30% mol SnO₂ + 70 % mol ZnO yaitu 48 s pada tegangan 24 Volt. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO yaitu 53,20 nm lebih kecil dibandingkan dengan 100% ZnO dan 100% SnO₂ yaitu 54,48 nm dan 53,21 nm.

Characterization of LPG gas sensor in the form of pellets made of SnO₂ and ZnO composite was performed. LPG sensor pellets were made with a different composition with the ratio of SnO₂ and ZnO are 90%:10% mol, 70%:30% mol, 50%:50% mol, 30%:70% mol, 10%:90% mol, 100% mol SnO₂, dan 100% mol ZnO. The making of LPG gas sensors begins with mixing of material, calcining at 500 °C for 4 hours, grinding, compacting and sintering at 700 °C for 4 hours using solid state reaction method. LPG gas sensors was tested at room temperature by measuring the characteristics I-V, calculating sensitivity, selectivity, conductivity, response time and morphology. The highest sensitivity was obtained the sample 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO is 4.74 at a voltage of 24 volts. The highest selectivity was obtained the sample 50% mol SnO₂ + 50% mol ZnO is 2.31 at a voltage of 24 Volts. The highest conductivity value was given a sample of 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO is 12.32 x 10⁻⁴ / Ω.m in the LPG environment. The response time of the sample is 30% mol of SnO₂ + 70% mol of ZnO which is 48 s at a voltage of 24 Volts. The XRD results that the crystallite size of 30% mol SnO₂ + 70% ZnO is 53.20 nm smaller than 100% ZnO and 100% SnO₂ is 54.48 nm and 53.21 nm.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan bahan bakar yang banyak digunakan pada bidang industri dan rumah tangga. LPG lebih efisien, ramah lingkungan, dan lebih murah dibandingkan dengan minyak tanah. LPG dapat menimbulkan dampak negatif apabila tidak hati-hati dalam penggunaannya, terutama saat terjadi kebocoran pada tabung dan perangkat gas LPG. Kebocoran gas LPG dapat dideteksi dengan indra penciuman, namun baunya tersamarkan jika gas meresap melalui saluran air, instalasi listrik, dan dalam kondisi AC (Air Conditioner) atau pemanas ruangan menyala (Reyanda, dkk., 2013). Kebocoran gas LPG dapat diketahui dengan adanya sensor gas LPG.

Sensor gas sudah banyak dikembangkan dengan menggunakan bahan semikonduktor logam oksida. Bahan logam oksida seperti seng oksida (ZnO), titanium dioksida (TiO₂), dan timah dioksida (SnO₂) merupakan material yang banyak dikembangkan sebagai sensor untuk mendeteksi gas seperti H₂ (hidrogen), CO (karbon monoksida), CH₄ (metana), dan hidrokarbon lainnya (Wang, dkk., 1998). Material semikonduktor logam oksida banyak digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi gas yang mudah terbakar pada konsentrasi rendah karena biaya produksinya lebih murah (Sivapunniam, dkk., 2011). Material semikonduktor logam oksida yang digunakan pada penelitian adalah SnO₂. Bahan SnO₂ merupakan logam oksida yang mempunyai titik leleh dan titik lebur yang tinggi, mampu merespon sejumlah gas dengan baik, memiliki celah energi 3,6 eV, dan ketersediaan bahan cukup melimpah (Shaposnik, dkk., 2012).

Kemampuan sensor gas dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan bahan doping dari bahan logam oksida atau logam mulia. Bahan logam mulia butuh biaya yang mahal dibandingkan dengan bahan logam oksida (Patil, dkk., 2011). Logam oksida yang dipilih pada penelitian ini adalah ZnO. Bahan ZnO merupakan bahan yang memiliki stabilitas termal yang baik, sensitivitas yang tinggi, dan mudah dibuat (CaO, dkk., 2009).

Penelitian tentang sensor LPG sebelumnya pernah dilakukan oleh Shukla dan Omanwar (2014) dengan menggunakan pelet SnO₂ yang diuji pada suhu ruang. Hasil penelitian menunjukkan sensitivitas rata-rata sensor terhadap gas LPG adalah 2 pada konsentrasi gas LPG 2%. Waktu respon sensor LPG pelet SnO₂ adalah 70 s. Kemudian Yadav dkk. (2014) juga melakukan penelitian tentang sensor gas LPG menggunakan bahan ZnO yang diuji pada suhu ruang berupa pelet ZnO. Hasil penelitian menunjukkan sensitivitas rata-rata adalah 5 pada konsentrasi gas LPG 5%. Waktu respon sensor LPG pelet ZnO ini adalah 90 s dan waktu pulihnya 110 s. Basthoh (2013) juga telah melakukan penelitian tentang sensor LPG dengan menggunakan bahan ZnO didoping TiO₂. Hasil penelitian menunjukkan sensitivitas tertinggi pada sampel ZnO + 3% mol TiO₂ sebesar 3,0769. Penelitian ini diuji pada suhu 85 °C.

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi sensor gas LPG dari bahan komposit SnO₂-ZnO untuk menghasilkan sensor gas LPG dengan waktu respon yang lebih singkat dan sensitivitas sensor meningkat.

2. METODE

2.1 Persiapan Pembuatan pelet SnO₂-ZnO

Bahan SnO₂ dan ZnO disiapkan sebanyak tujuh variasi sampel dimana massa masing-masing sampel adalah 0,5 gram. Komposisi SnO₂ dengan ZnO dihitung berdasarkan reaksi kimia seperti Persamaan 1 :



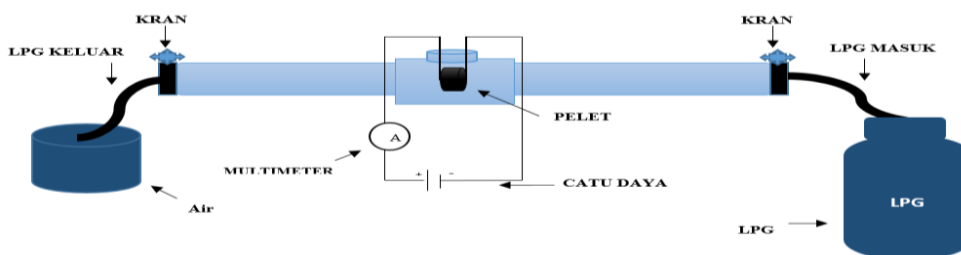
dengan x adalah jumlah bahan yang ditambahkan dalam mol.

Bahan digerus selama 1 jam, kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi, bahan digerus kembali selama 10 menit agar butir-butir bahan yang menggumpal

menjadi lebih halus. Bahan dikompaksi sehingga berbentuk pelet, kemudian bahan di *sintering* suhu 700 °C selama 4 jam agar sampel yang diperoleh lebih kuat dan padat.

2.2 Karakterisasi sensor LPG

Pelet yang di *sintering* dikarakterisasi menggunakan alat pengujian sensor gas LPG seperti pada Gambar 1. Sampel dirangkai bias maju dan kemudian dilanjutkan dengan bias mundur. Tegangan divariasikan dari -30 V sampai dengan 30 V dengan interval 3V. Pengukuran bias maju dan bias mundur dilakukan dengan merangkai salah satu bagian elektroda sampel dihubungkan dengan kutub positif sedangkan yang lainnya dihubungkan dengan kutub negatif yang disebut rangkaian bias maju dan untuk bias mundur polaritasnya dibalik.



Gambar 1 Skema rancangan alat pengujian sensor LPG

Karakteristik arus dan tegangan diukur untuk menentukan nilai sensitivitas, selektivitas, konduktivitas, dan waktu respon sensor. Sensitivitas merupakan ukuran seberapa sensitif sensor mengenali zat yang dideteksinya. Nilai sensitivitas pada sensor dapat ditentukan dengan Persamaan 2.

$$S = \frac{I_{LPG}}{I_{Udara}} \quad (2)$$

dimana I_{LPG} adalah arus sampel pada lingkungan LPG, I_{udara} adalah arus sampel pada lingkungan udara, dan S adalah sensitivitas (Yadav, dkk., 2011).

Selektivitas merupakan kemampuan sensor dalam menyeleksi gas, karena gas tersebut bercampur dengan gas yang lain yang ada disekelilingnya. Selektivitas dapat ditentukan dengan Persamaan 3.

$$S_{selec} = \frac{I_{LPG}}{I_{O_2}} \quad (3)$$

dimana I_{O_2} adalah arus sampel pada lingkungan gas oksigen, dan S_{selec} merupakan selektivitas (Mondal, dkk., 2014).

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Konduktivitas dapat ditentukan dengan Persamaan 4.

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (4)$$

Waktu respon adalah waktu yang diperlukan sensor untuk mengenali gas yang akan dideteksinya dan karakterisasi sampel menggunakan XRD untuk menentukan ukuran kristal. Ukuran kristal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Scherrer pada Persamaan 5.

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad (5)$$

dengan D adalah ukuran kristal, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, θ adalah sudut Bragg, B adalah lebar puncak difraksi pada setengah maksimum (*Full Width Half Maximum, FWHM*), dan $0,9$ merupakan nilai konstanta material yang umumnya dipakai.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi I - V Sampel pada Lingkungan Udara, LPG, dan Oksigen

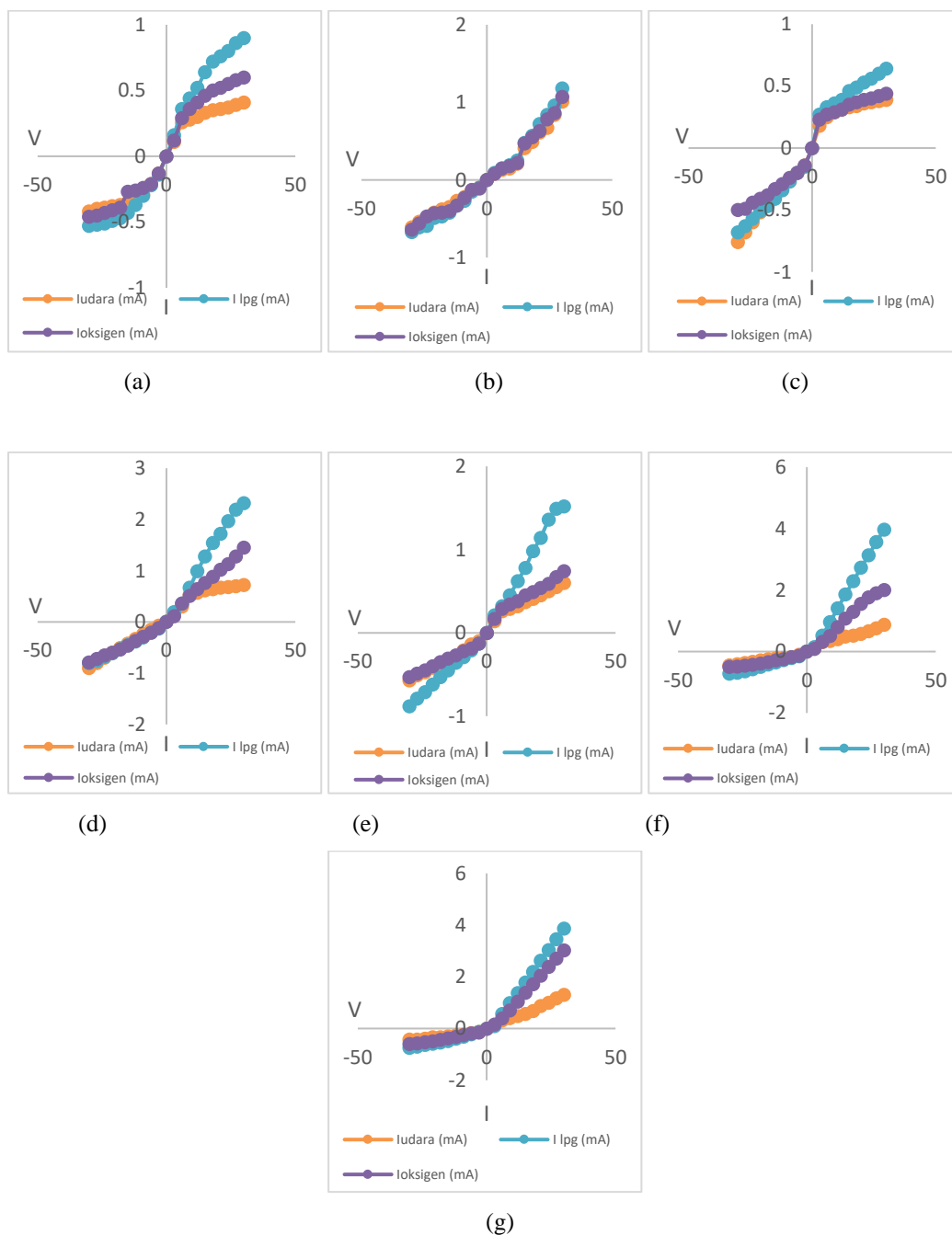
Nilai karakteristik I - V masing-masing sampel pada lingkungan LPG, oksigen, dan udara ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 (a) dan (b) menunjukkan perbandingan arus pada lingkungan LPG, lingkungan udara, dan lingkungan oksigen kecil. Dari grafik dapat dilihat bahwa material semikonduktor sudah dapat membedakan lingkungan udara, LPG dan oksigen. Namun nilai perbandingan arus yang diperoleh masih rendah. Hal ini disebabkan karena sebelum dijadikan komposit bahan semikonduktor 100% ZnO dan 100% SnO₂ mempunyai energi gap yang besar sehingga elektron sulit berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

Gambar 2 (c) menunjukkan arus pada lingkungan udara, lingkungan LPG, dan lingkungan oksigen terjadi peningkatan dibandingkan sampel sebelum dijadikan komposit. Grafik perbandingan arus yang lebih besar antara arus pada lingkungan LPG dengan arus pada lingkungan udara dan lingkungan oksigen sebelum dijadikan komposit. Hal ini disebabkan gas LPG lebih banyak bereaksi dengan oksida dibandingkan reaksi oksigen dengan oksida, sehingga arus pada lingkungan LPG lebih tinggi dibandingkan arus pada lingkungan oksigen.

Gambar 2 (d) dan (g) menunjukkan bahwa arus pada lingkungan LPG lebih tinggi dibandingkan dengan arus di lingkungan udara dan oksigen. Hal ini disebabkan karena molekul-molekul LPG akan lebih banyak bereaksi dengan permukaan sensor semikonduktor dibandingkan dengan molekul-molekul di lingkungan udara sehingga arus meningkat.

Gambar 2 (e) menunjukkan bahwa perbandingan arus pada lingkungan LPG terhadap lingkungan udara dan lingkungan oksigen lebih besar dari pada arus SnO₂ dan ZnO sebelum dijadikan komposit, namun nilainya mengalami penurunan jika dibandingkan dengan sampel 70% SnO₂ + 30% ZnO. Hal ini disebabkan karena pencampuran konsentrasi bahan dapat mempengaruhi energi gap, sehingga elektron sulit berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

Gambar 2 (f) menunjukkan bahwa sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO mempunyai perbandingan arus yang tinggi pada lingkungan LPG, udara dan oksigen. Perbandingan arus pada lingkungan LPG terhadap arus pada lingkungan udara pada sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO lebih besar dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini disebabkan karena molekul-molekul gas LPG lebih banyak bereaksi dengan oksida yang terdapat pada sampel komposit semikonduktor, sehingga dapat memperkecil daerah deplesi antar muka butir partikel akibatnya elektron mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.



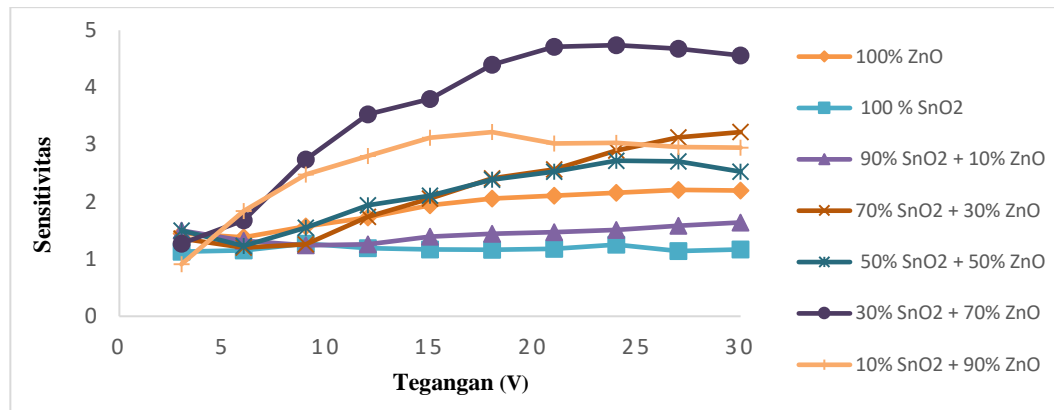
Gambar 2 Grafik *I-V* pada lingkungan LPG, udara, dan oksigen

(a) 100% ZnO, (b) 100 % SnO₂, (c) 90% SnO₂ + 10% ZnO, (d) 70% SnO₂ + 30% ZnO, (e) 50% SnO₂ + 50% ZnO, (f) 30% SnO₂ + 70% ZnO, (g) 10% SnO₂ + 90% ZnO

3.2 Karakteristik Sensitivitas

Sensitivitas masing-masing sampel dapat diketahui dari berdasarkan grafik karakteristik *I-V* dan ditentukan dengan Persamaan 2. Perubahan sensitivitas masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 nilai sensitivitas tertinggi didapatkan dari sampel komposit SnO₂-ZnO dengan persentase 30% mol SnO₂ + 70 % mol ZnO yaitu 4,74 pada tegangan 24 Volt pada bias

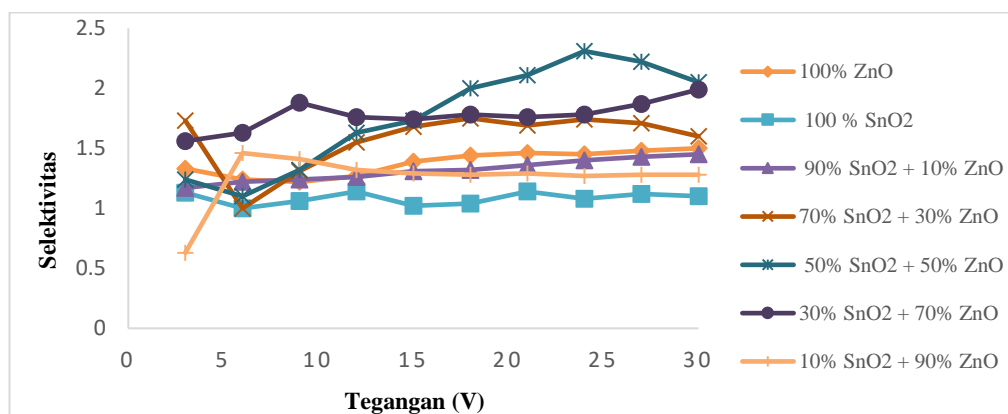
maju, hal ini disebabkan oleh perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan LPG dari lingkungan udara. Arus yang tinggi disebabkan karena terjadi pengecilan daerah deplesi yang menyebabkan elektron mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Sensitivitas yang rendah terjadi pada bahan komposit semikonduktor 90% mol SnO₂ + 10% mol ZnO yaitu 1,64 pada tegangan 30 Volt, 100% SnO₂ yaitu 1,27 pada tegangan 9 Volt, dan 100% ZnO yaitu 2,21 pada tegangan 27 Volt. Hal ini disebabkan karena reaksi antara LPG dan oksida menurun, sedangkan untuk sampel SnO₂ dan ZnO murni memiliki energi gap yang besar dan arus yang dihasilkan pada lingkungan LPG kecil.



Gambar 3 Grafik perubahan sensitivitas terhadap tegangan

3.3 Karakteristik Selektivitas

Selektivitas masing-masing sampel dapat diketahui dari berdasarkan grafik karakteristik I-V dan ditentukan dengan Persamaan 3. Perubahan selektivitas masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 4. Selektivitas tertinggi didapatkan pada sampel komposit semikonduktor SnO₂-ZnO dengan persentase mol 50% SnO₂ + 50% ZnO yaitu 2,31 pada tegangan 24 Volt pada bias maju, hal ini disebabkan oleh perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan LPG dari lingkungan oksigen. Arus yang tinggi disebabkan karena material sensor semikonduktor lebih banyak bereaksi dengan molekul-molekul LPG dibandingkan dengan molekul-molekul pada lingkungan oksigen, sehingga pada lingkungan LPG terjadi pengecilan daerah deplesi yang menyebabkan elektron mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.



Gambar 4 Grafik perubahan selektivitas terhadap tegangan

3.4 Karakteristik Konduktivitas

Nilai konduktivitas pada lingkungan udara maupun lingkungan LPG dapat diketahui berdasarkan perhitungan sesuai dengan Persamaan 4. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas semua sampel berdasarkan teori termasuk pada bahan semikonduktor. Sampel 30% SnO₂ + 70% ZnO mempunyai nilai konduktivitas tertinggi pada lingkungan LPG. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi LPG dengan oksida yang dapat memperkecil daerah deplesi yang mengakibatkan

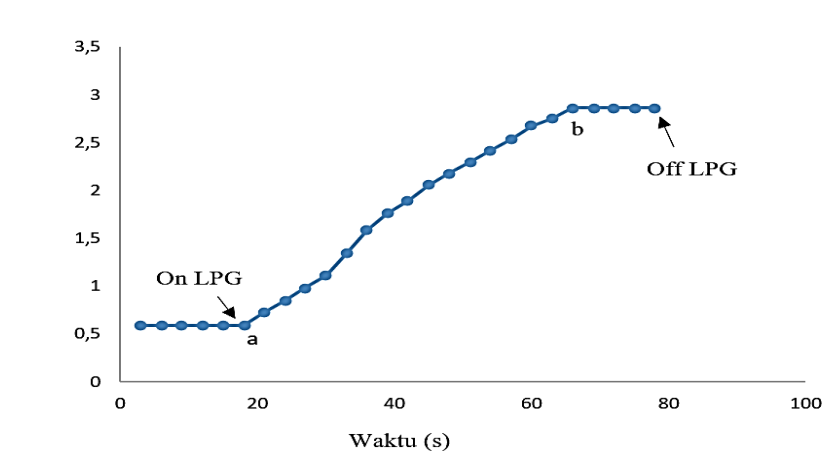
elektron dengan mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Nilai konduktivitas masing-masing sampel pada lingkungan LPG lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan udara, hal ini disebabkan karena pada lingkungan LPG ketika LPG bereaksi dengan oksida akan melepaskan elektron bebas sehingga arus meningkat dan hambatannya menurun.

Tabel 1 Konduktivitas sampel di lingkungan udara, LPG, dan oksigen

Sampel	Konduktivitas ($10^{-4}/\Omega.m$)		
	Lingkungan Udara	Lingkungan Oksigen	Lingkungan LPG
100 % SnO ₂	6,24	6,73	7,45
90% SnO ₂ + 10% ZnO	6,37	6,03	7,72
70% SnO ₂ + 30% ZnO	8,32	10,01	11,77
50% SnO ₂ + 50% ZnO	6,29	6,82	10,63
30% SnO ₂ + 70% ZnO	8,21	8,78	12,32
10% SnO ₂ + 90% ZnO	6,26	10,49	12,18
100% ZnO	5,92	6,53	8,45

3.5 Karakteristik Waktu Respon Sensor Terhadap Gas LPG

Waktu respon sensor terhadap gas LPG diukur pada sampel dengan sensitivitas tertinggi dengan nilai sensitivitas 4,74 yaitu pada sampel komposit 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO pada tegangan 24 Volt. Pengukuran waktu respon dilakukan dalam selang waktu tiap 3 detik di lingkungan udara, kemudian setelah di udara dilanjutkan dengan mengalirkan gas LPG sampai didapatkan nilai arus yang stabil. Sampel berada pada lingkungan udara dengan arus stabil sampai detik 18 s, LPG dialirkan pada waktu ke 18 s. Kemudian saat gas LPG dialirkan terjadi peningkatan arus secara signifikan sampai detik ke 66 s, selanjutnya arus relatif stabil. Hal ini disebabkan karena gas LPG yang bereaksi dengan oksida mengakibatkan daerah deplesi mengecil sehingga arus meningkat. Waktu respon yang diperoleh pada sampel yaitu 48 s pada suhu kamar. Waktu respon sensor terhadap LPG yang dimiliki sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO dapat dilihat pada Gambar 5.

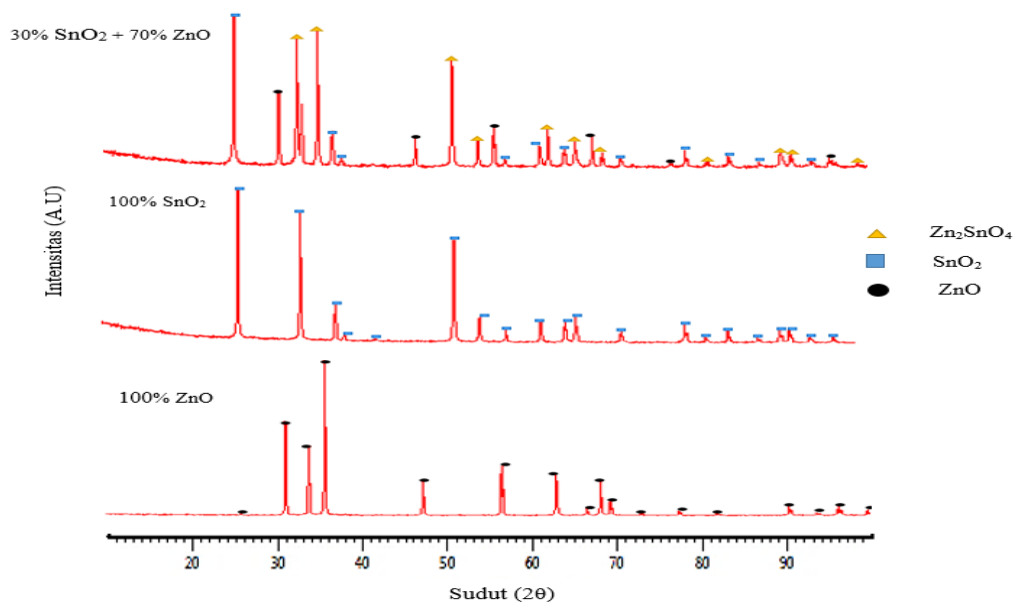


Gambar 5 Waktu respon sampel 30% SnO₂ + 70% ZnO terhadap gas LPG

3.6 Analisis Karakteristik XRD

Difraksi sinar-X dapat menunjukkan ukuran kristal. Karakterisasi XRD dilakukan pada tiga sampel, yaitu pada sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO yang memiliki sensitivitas tertinggi, sampel 100% ZnO, dan sampel 100% SnO₂. Hasil XRD menunjukkan sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO terdapat puncak-puncak baru yaitu Zn₂SnO₄. Munculnya puncak baru menandakan terbentuknya senyawa baru dari komposit SnO₂ dan ZnO. Gabungan dari bahan SnO₂ dan ZnO ini mempengaruhi

ukuran kristal. Ukuran kristal pada ketiga sampel dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer pada Persamaan 5, ukuran kristal 100% ZnO yaitu 54,48 nm. Ukuran kristal 100% SnO₂ yaitu 53,21 nm, sedangkan ukuran kristal sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO adalah 53,20 nm. Pola difraksi sinar-X ketiga sampel ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Pola difraksi sinar-X pada sampel 100% mol ZnO, 100% mol SnO₂, dan 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang karakterisasi komposit semikonduktor SnO₂ dan ZnO sebagai sensor gas LPG, dapat disimpulkan bahwa sensor gas LPG yang dibuat telah mampu membedakan lingkungan udara, oksigen, dan LPG. Nilai sensitivitas tertinggi diperoleh pada sampel 30% SnO₂ + 70% ZnO sebesar 4,74 dengan tegangan operasional 24 Volt pada suhu kamar. Nilai selektivitas tertinggi diperoleh pada sampel 50% SnO₂ + 50% ZnO sebesar 2,31 dengan tegangan operasional 24 Volt pada suhu kamar. Konduktivitas lingkungan LPG lebih tinggi dibandingkan lingkungan udara. Konduktivitas tertinggi diperoleh pada sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO yaitu 12,32 10⁻⁴/Ω.m pada lingkungan LPG, sampel 70% mol SnO₂ + 30% mol ZnO yaitu 8,32 10⁻⁴/Ω.m pada lingkungan udara, dan sampel 10% mol SnO₂ + 90% mol ZnO yaitu 10,49 10⁻⁴/Ω.m pada lingkungan oksigen. Waktu respon sensor gas LPG diukur pada sampel dengan sensitivitas tertinggi yaitu sampel 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO dengan waktu respon adalah 48 s pada tegangan 24 Volt. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal 30% mol SnO₂ + 70% mol ZnO yaitu 53,20 nm lebih kecil dibandingkan dengan 100% ZnO dan 100% SnO₂ yaitu 54,48 nm dan 53,21 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- Basthoh, E., "Karakterisasi ZnO Didoping TiO₂ untuk Detektor LPG", *Jurnal Ilmu Fisika*, **5**(1), 11-15, (2013).
- Cao, Y., Pana, W., Zonga, Y. dan Dianzeng, J., "Preparation and Gas Sensing Properties of Pure and Nd Doped ZnO Nanorods by Low-Heating Solid State Chemical Reaction", *Sensors and Actuators B*, **138**, 480-484, (2009).
- Mondal, B., Basumatari, B., Das, J., Roychaudhury, C., Saha, H. dan Mukherjee, N., "ZnO-SnO₂ based Composite Type Gas Sensor for Selective Hydrogensensing", *Sensor and Actuators B*, **194**, 389-396, (2014)
- Patil, A., Dighavkar, C., dan Borse, R., "Al Doped ZnO Thick Films as CO₂ Gas Sensors", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **13**(10), 1331-1337, (2011).

- Reyanda, D., Maulana, O. P. dan Ramadhan R. A., "Alat Pendeteksi gas LPG Dengan Sensor Gas TGS 2610 Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535", *Jurnal Himpunan Diploma 3 Ahli Elektronika*, **098**(2), 11-19, (2013).
- Shaposhnik, D., Pavelko, R., Liobert, E., Gisbert, G. F. dan Vilanova, X., "Hydrogen Sensors on The Basis of SnO₂-TiO₂ System", *Sensors and Actuators B*, **25**, 527-534, (2012).
- Shukla, T. dan Omanwar, S.K., "Solid State Tin Oxide Based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature", *SSRG International Journal of Medical Science*, **1**, 18-21, (2014).
- Sivapunniyam, A., Wiromrat, N., Myint, M. T. Z. dan Dutta, J., "High Performance Liquefied Petroleum Gas Sensing Based on Nanostructures of Zinc Oxide and Zinc Stannate", *Sensors and Actuators B*, **157**, 232-239, (2011).
- Wang, C. C., Akbar, S. A. dan Madau, M. J., "Ceramic Based Resistive Sensors", *Journal of Electroceramics*, **2**(4), 273-282, (1998).
- Yadav, A., dan Yadav, B. C., "A Mechanochemical Synthesis of Nanostructured Zinc Oxide Via Acetate Route for LPG Sensing", *Journal of Experimental Nanoscience*, **9**(5), 501-511, (2014).
- Yadav, B. C., Yadav, A., Shukla, T. dan Singh, S., "Solid State Titania-based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature", *Bull. Mater. Sci*, **34**(7), 1639-1644, (2011).