

## Karakterisasi Sensor *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) dari Bahan SnO<sub>2</sub> Didoping dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Nesfi Addina, 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: 30 Juli 2020  
Direvisi: 10 September 2020  
Diterima: 16 September 2020

#### Kata kunci:

sensor LPG  
SnO<sub>2</sub>  
sensitivitas  
selektivitas  
konduktivitas  
waktu respon

#### Keywords:

LPG sensor  
SnO<sub>2</sub>  
sensitivity  
selectivity  
conductivity  
response time

#### Penulis Korespondensi:

Elvaswer  
Email: [elvaswer@sci.unand.ac.id](mailto:elvaswer@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Karakterisasi terhadap sensor gas LPG dari bahan SnO<sub>2</sub> didoping dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> telah dilakukan. Sampel dibuat dengan persentase doping 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% mol terhadap bahan dasar SnO<sub>2</sub>. Sensor gas LPG diuji pada temperatur ruang untuk mendapatkan karakteristik *I-V*, nilai sensitivitas, selektivitas, konduktivitas, waktu respon dan karakterisasi XRD. Berdasarkan pengukuran karakteristik *I-V*, sensitivitas tertinggi pada sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8 % mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 4,33 pada tegangan 12 volt. Nilai selektivitas tertinggi terdapat pada sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8 % mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 2,67 pada tegangan 6 volt. Nilai konduktivitas tertinggi dimiliki sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8 % mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 12,06 x 10<sup>-4</sup>/Ω.m pada lingkungan LPG. Waktu respon sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8 % mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 45 s pada tegangan 24 volt. Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8 % mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 43,67 nm lebih kecil dibandingkan dengan 100% SnO<sub>2</sub> yaitu 57,74 nm.

*Characterization of LPG gas sensors made from material SnO<sub>2</sub> doped with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was performed. Samples were made with doped Percentages of 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10% mol of the basic ingredient SnO<sub>2</sub>. LPG gas sensors was tested at room temperature by measuring *I-V*'s characteristics, calculating values of sensitivity, selectivity, conductivity, response time and XRD characterization. Based on the measurement of *I-V* characteristics, the highest sensitivity of the sample 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 4.33 at a voltage of 12 volts. The highest selectivity value of the sample 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 2.67 at a voltage of 6 volts. The highest conductivity value was given a sample of 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 12.06 x 10<sup>-4</sup> / Ω.m in the LPG environment. The sample's response time is 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, which is 45 s at a voltage of 12 volts. The XRD results that the crystallite size of 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 43.67 nm smaller than 100% SnO<sub>2</sub> is 57.74 nm.*

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

*Liquefied Petroleum Gas* (LPG) telah banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah dan bidang industri pada industri makanan, keramik, dan gelas. LPG dapat menimbulkan dampak negatif apabila tidak hati-hati dalam penggunaannya, terutama saat terjadi kebocoran pada perangkat tabung gas LPG. Kebocoran gas LPG dapat dideteksi dengan indra penciuman, namun baunya tersamarkan jika gas meresap melalui saluran air, instalasi listrik, dan dalam kondisi *Air Conditioner* (AC) yang menyala. Kebocoran gas LPG dapat dideteksi dengan adanya sensor gas LPG.

Penelitian tentang sensor LPG telah dilakukan sebelumnya oleh Shukla dan Omanwar (2014) dalam bentuk pelet dari bahan tunggal SnO<sub>2</sub>. Hasilnya menunjukkan nilai sensitivitas adalah 2 dengan waktu respon 70 sekon pada temperatur ruang. Basthoh dkk. (2013) juga telah melakukan penelitian tentang sensor LPG dengan menggunakan bahan ZnO didoping TiO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan sensitivitas tertinggi terjadi pada sampel ZnO + 3% mol TiO<sub>2</sub> sebesar 3 pada temperatur 85°C. Selanjutnya Bautista dkk. (2015) telah melakukan penelitian dalam bentuk pelet dari bahan TiO<sub>2</sub> dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hasilnya menunjukkan nilai sensitivitas tertinggi sebesar 5 pada sampel 50% TiO<sub>2</sub> dan 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada suhu 300°C untuk 500 ppm dengan waktu respon 20 sekon.

Sensor gas sudah banyak dikembangkan dengan menggunakan bahan semikonduktor logam oksida. Keunggulan sensor gas dengan bahan semikonduktor oksida yaitu biaya lebih murah, metode yang sederhana, dan dapat diproduksi secara massal dibandingkan dengan sensor elektrokimia dan optik yang harganya lebih mahal (Hendri, 2012). Bahan semikonduktor metal oksida yang memiliki kemampuan sensor gas antara lain seperti WO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, Ag<sub>2</sub>O, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Feng dkk., 2007). Material semikonduktor logam oksida yang digunakan pada penelitian adalah SnO<sub>2</sub>. Bahan SnO<sub>2</sub> 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).

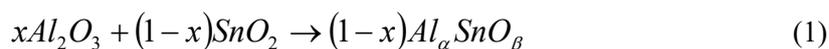
Kemampuan sensor gas dapat ditingkatkan dengan memberi bahan doping karena dapat merubah sifat bahan semikonduktor dari material sejenis logam oksida atau berupa logam mulia. Bahan logam mulia butuh biaya yang mahal dan sulit diperoleh dibandingkan dengan bahan logam oksida (Patil dkk., 2011). Material logam oksida yang dipilih pada penelitian ini adalah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karena memiliki beberapa kelebihan yaitu ketersediaan bahan melimpah, harga yang murah, dan tahan terhadap suhu tinggi (Li dkk., 2005).

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi sensor LPG dari bahan SnO<sub>2</sub> didoping dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk meningkatkan sensitivitas terhadap gas LPG, memiliki waktu respon yang singkat serta dapat beroperasi pada temperatur ruang.

## II. METODE

### 2.1 Persiapan dan Pembuatan Pelet SnO<sub>2</sub> Didoping Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Bahan SnO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disiapkan sebanyak enam variasi sampel dimana massa masing-masing sampel adalah 0,5 g. Komposisi SnO<sub>2</sub> dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dihitung berdasarkan reaksi kimia seperti Persamaan 1 :



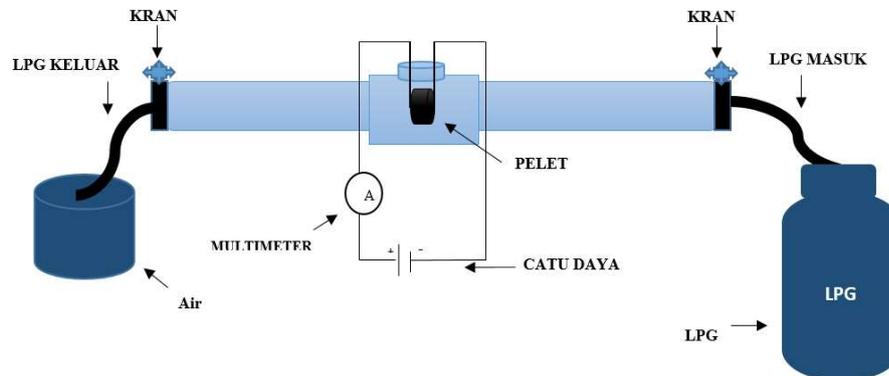
dengan  $x$  adalah jumlah bahan yang ditambahkan dalam mol.

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 hingga berbentuk pelet, kemudian bahan disinter pada suhu 700°C selama 4 jam agar sampel yang diperoleh 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 (Sumber: Basthoh dkk., 2013)

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.

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

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.

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

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan 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,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta$  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.

### III. HASIL DAN DISKUSI

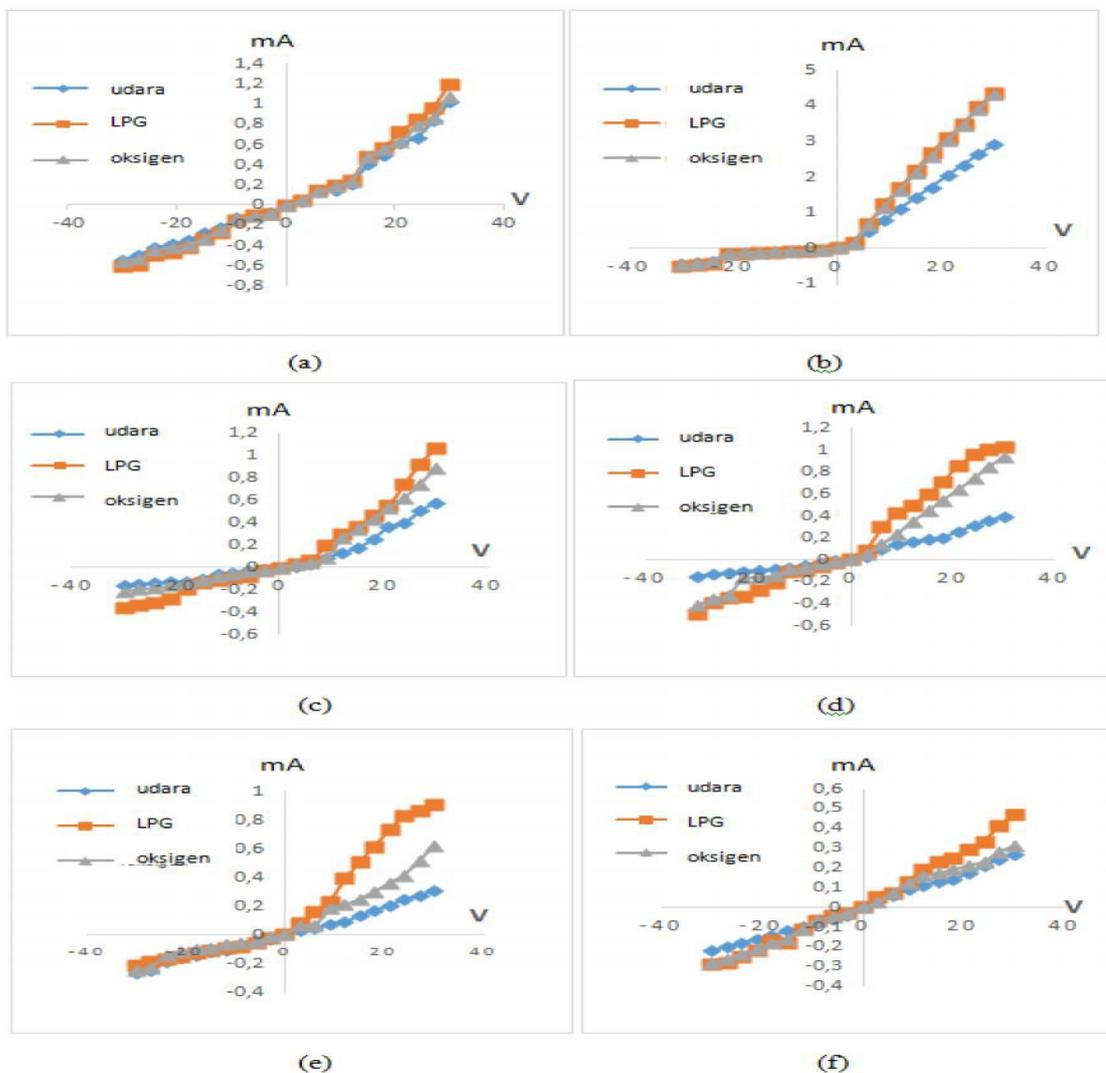
#### 3.1 Karakterisasi $I$ - $V$ Sampel pada Lingkungan Udara, LPG, dan Oksigen

Nilai karakteristik  $I$ - $V$  masing-masing sampel pada lingkungan LPG, oksigen, dan udara ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 (a) memperlihatkan bahwa sampel 100% SnO<sub>2</sub>, hampir tidak terjadi perbedaan nilai arus pada lingkungan LPG dengan arus pada lingkungan oksigen. Hal ini disebabkan karena sebelum didoping bahan semikonduktor 100% SnO<sub>2</sub> mempunyai energi gap yang besar sehingga elektron sulit berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Sehingga dapat

memperbesar daerah deplesi antar muka partikel yang menyebabkan elektron sulit berpindah dari satu partikel ke partikel lain (Basthoh dkk., 2013).

Grafik  $I-V$  pada sampel 98% SnO<sub>2</sub> + 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada gambar 2 (b) tidak jauh berbeda dengan sampel sebelum didoping, tetapi mulai menunjukkan arus yang sedikit lebih besar pada lingkungan LPG dibandingkan dengan arus pada lingkungan udara dan oksigen. Hal ini disebabkan karena secara teori doping dapat menurunkan energi gap akibatnya elektron mudah melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Karakteristik  $I-V$  pada Gambar 2 (c) dan (d) memperlihatkan bahwa semakin besar persentase doping Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> maka arus yang terukur pada lingkungan LPG semakin tinggi dibandingkan arus pada lingkungan udara dan oksigen. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat didoping Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, molekul-molekul LPG lebih banyak bereaksi dengan permukaan sensor semikonduktor dibandingkan dengan molekul-molekul di lingkungan udara, sehingga arus meningkat (Basthoh dkk., 2013).

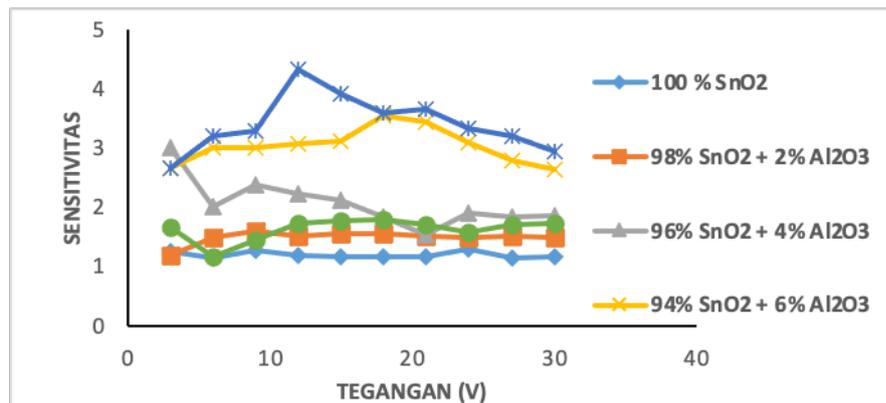
Perbandingan arus pada lingkungan LPG terhadap arus pada lingkungan udara dan oksigen mencapai puncaknya pada sampel 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seperti pada Gambar 2 (e), hal ini disebabkan karena arus pada lingkungan LPG optimum bereaksi dengan oksida yang terdapat pada sampel didoping tersebut sehingga dapat memperkecil daerah deplesi akibatnya elektron mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Sedangkan pada sampel 90% SnO<sub>2</sub> + 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seperti diperlihatkan Gambar 2 (f) arus yang terukur pada lingkungan LPG mengalami penurunan kembali. Hal ini terjadi karena reaksi LPG dengan permukaan oksida menurun, sehingga interaksi elektron dalam bahan sedikit (Basthoh dkk., 2013).



**Gambar 2** Grafik  $I-V$  pada lingkungan LPG, udara, dan oksigen  
(a) 100% SnO<sub>2</sub>, (b) 98% SnO<sub>2</sub> + 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) 96% SnO<sub>2</sub> + 4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) 94% SnO<sub>2</sub> + 6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (f) 90% SnO<sub>2</sub> + 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### 3.2 Karakteristik Sensitivitas

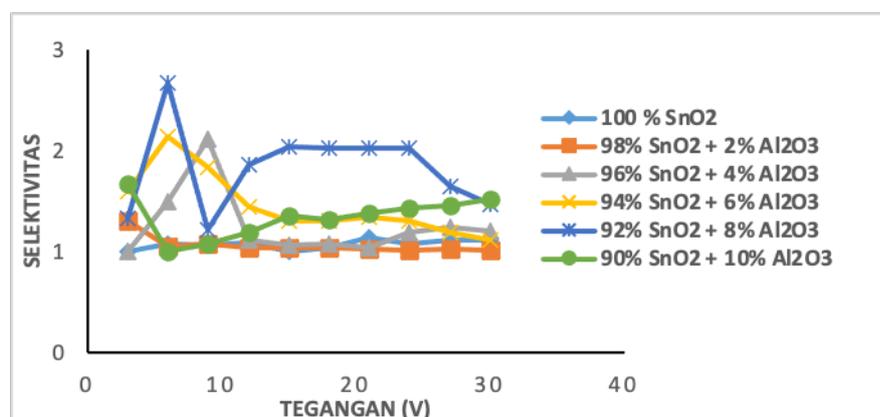
Sensitivitas masing-masing sampel dapat diketahui berdasarkan grafik karakteristik  $I-V$  dan ditentukan dengan Persamaan 2. Perubahan sensitivitas masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 nilai sensitivitas tertinggi didapatkan dari sampel SnO<sub>2</sub> didoping Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan persentase mol 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 4,33 pada tegangan 12 volt pada bias maju, hal ini disebabkan oleh perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan LPG dari lingkungan udara. Arus yang tinggi disebabkan karena reaksi LPG dengan oksida lebih banyak, sehingga terjadi pengecilan daerah deplesi yang menyebabkan elektron mudah berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Sensitivitas yang paling rendah terjadi pada bahan doping semikonduktor 98% mol SnO<sub>2</sub> + 2% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini disebabkan karena reaksi antara LPG dan oksida sedikit, sehingga 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 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 SnO<sub>2</sub> didoping Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan persentase mol 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 2,67 pada tegangan 6 volt pada bias maju, hal ini disebabkan oleh perbedaan arus yang lebih tinggi di lingkungan LPG dari lingkungan oksigen. Arus yang tinggi disebabkan karena reaksi dengan molekul-molekul LPG lebih banyak 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 yaitu  $10^{-5} < \sigma > 10^5 / \Omega \cdot m$  (Patil, dkk., 2011). Sampel 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai nilai konduktivitas tertinggi

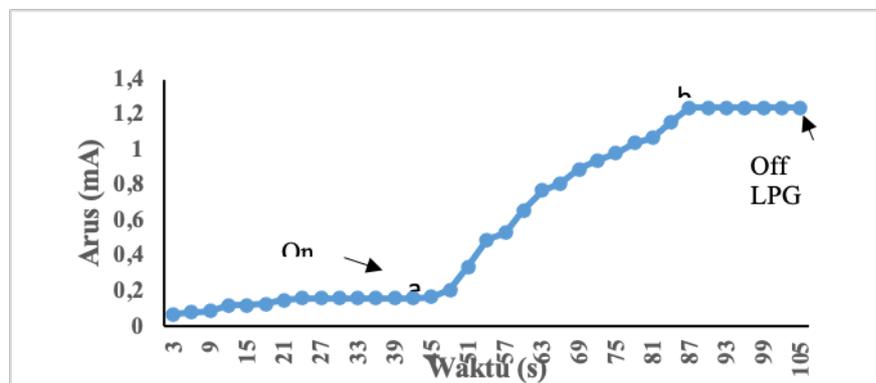
pada lingkungan LPG. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi LPG dengan oksida yang dapat memperkecil daerah deplesi yang mengakibatkan elektron dengan mudah berpindah ke pita konduksi. Nilai konduktivitas masing-masing sampel pada lingkungan LPG lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan udara dan lingkungan oksigen, 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, oksigen, dan LPG

Sampel	Konduktivitas ( $\times 10^{-4}/\Omega.m$ )		
	Lingkungan Udara	Lingkungan Oksigen	Lingkungan LPG
100% SnO <sub>2</sub>	5,30 ± 0,80	7,23 ± 0,90	10,47 ± 0,95
98% SnO <sub>2</sub> + 2% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,27 ± 0,80	7,74 ± 0,90	10,79 ± 0,95
96% SnO <sub>2</sub> + 4% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,05 ± 0,80	8,00 ± 0,90	10,96 ± 0,95
94% SnO <sub>2</sub> + 6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,28 ± 0,80	8,08 ± 0,90	11,80 ± 0,95
92% SnO <sub>2</sub> + 8% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,54 ± 0,80	8,83 ± 0,90	12,06 ± 0,95
90% SnO <sub>2</sub> + 10% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,40 ± 0,80	7,75 ± 0,90	10,80 ± 0,95

### 3.5 Karakteristik Waktu Respon Sensor Terhadap Gas LPG

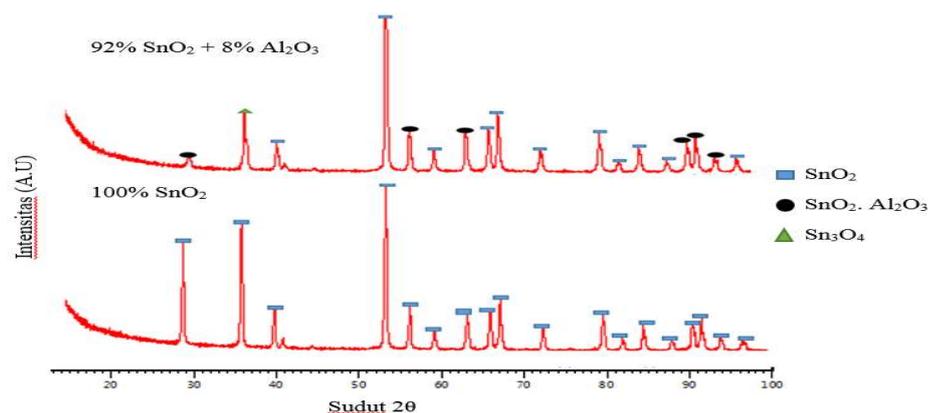
Waktu respon sensor terhadap gas LPG diukur pada sampel dengan sensitivitas tertinggi yaitu pada sampel doping 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada tegangan 12 volt. Pengukuran waktu respon dilakukan dalam selang waktu tiap 3 detik di lingkungan udara pada arus stabil, kemudian setelah dilingkungan udara dilanjutkan dengan mengalirkan LPG sampai didapatkan nilai arus yang stabil. Sampel berada pada lingkungan udara dengan arus stabil sampai detik 42 s, LPG dialirkan pada waktu ke 42 s. Kemudian saat gas LPG dialirkan terjadi peningkatan arus secara signifikan sampai detik ke 87 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 yaitu 45 s pada suhu kamar. Waktu respon terhadap LPG yang dimiliki sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5** Waktu respon sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap gas LPG

### 3.6 Analisis Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD dilakukan pada dua sampel yaitu pada sampel 100% SnO<sub>2</sub> dan sampel dengan sensitivitas tertinggi yaitu sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hasil XRD menunjukkan sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terdapat senyawa baru yaitu SnO<sub>2</sub>.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Sn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Gabungan dari bahan SnO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ini mempengaruhi ukuran kristal. Ukuran kristal pada kedua sampel dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer seperti yang diberikan oleh Persamaan 5. Ukuran kristal 100% SnO<sub>2</sub> yaitu 57,74 nm, sedangkan ukuran kristal sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah 43,67 nm. Pola difraksi sinar-X kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6** Pola difraksi sinar-X pada sampel 100% mol SnO<sub>2</sub> dan 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang karakterisasi I-V semikonduktor SnO<sub>2</sub> didoping dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 4,33 dengan tegangan operasional 12 volt pada suhu kamar. Nilai selektivitas tertinggi diperoleh pada sampel 92% SnO<sub>2</sub> + 8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 2,67 dengan tegangan operasional 6 volt pada suhu kamar. Konduktivitas pada lingkungan LPG lebih tinggi dibandingkan lingkungan oksigen dan udara yaitu konduktivitas tertinggi diperoleh pada sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 12,06.10<sup>-4</sup>/Ω.m pada lingkungan LPG. Waktu respon sampel 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap gas LPG adalah 45 s dengan tegangan 12 volt pada suhu ruang. Hasil XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal 92% mol SnO<sub>2</sub> + 8% mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 43,67 nm lebih kecil dibandingkan dengan SnO<sub>2</sub> sebelum didoping yaitu 57,74 nm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Basthoh, E., Elvaswer, dan Harmadi., "Karakterisasi ZnO Didoping TiO<sub>2</sub> untuk Detektor LPG", *Jurnal Ilmu Fisika*, **5**(1), 11-15, (2013).
- Bautista, J.M., Maldonado, A., dan Olvera, M.L., "Gas Sensing Performance of TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Pellets", *International Conference on Electrical Engineering*, **1**(978), (2015).
- Feng, L.D., Huang, X.J., dan Choi, Y.K., "Dynamic Determination of Domestic Liquefied Petroleum Gas Down to Several ppm Levels Using a Sr-doped SnO<sub>2</sub> Thick Film Gas Sensor", *Microchimica Acta*, **156**, 245-251, (2007).
- Hendri, "Karakterisasi TiO<sub>2</sub> (CuO) dengan Metoda Keadaan Padat (Solid State Reaction) sebagai Sensor Gas CO<sub>2</sub>", *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, **1**(1), 25-29, (2012).
- Li, J., Pan, Y., Xiang, C., Ge, Q., dan Guo, J., "Low Temperature Synthesis of Ultrafine α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Powder by a Simple Aqueous Sol-Gel Process", *Ceramics International*, **32**, 587-591, (2005).
- Mondal, B., Basumatari, B., Das, J., Roychaudhury, C., Saha, H. dan Mukherjee, N., "ZnO-SnO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> Gas Sensors", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **13**(10), 1331-1337, (2011).
- Shaposhnik, D., Pavelko, R., Liobert, E., Gisbert, G. F. dan Vilanova, X., "Hydrogen Sensors on The Basis of SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> 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).
- 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).