

# Pengaruh Variasi Temperatur Operasi dan Konsentrasi Gas Terhadap Sensitivitas Sensor Gas LPG dari Material $WO_3$ Hasil Proses Sol-Gel dan Post Hydrothermal

Dwi Jingga Dharma Kusuma dan Diah Susanti

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail*: santiche@mat-eng.its.ac.id

**Abstrak**—Gas LPG (Liquified Petroleum Gas) adalah gas alam yang diaplikasikan dalam dunia industri dan kehidupan sehari-hari dan merupakan gas yang ramah lingkungan namun beracun bagi kesehatan. LPG merupakan gas yang mudah terbakar dan beresiko menimbulkan ledakan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sensor gas LPG dari material  $WO_3$ . Proses sintesa material  $WO_3$  dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan prekursor  $WCl_6$ , etanol, dan  $NH_4OH$ . Pelet sensor dibuat dari serbuk  $WO_3$  hasil proses post hydrothermal dengan variasi temperature  $160^\circ C$ ,  $180^\circ C$  dan  $200^\circ C$  selama 12 jam dikompaksi pada tekanan 150 bar dan dianil  $300^\circ C$  selama 1 jam. Sensor yang telah dibuat dilakukan uji SEM, XRD, dan BET untuk mengetahui karakterisasi material sensor. Pengujian sensitivitas pada material sensor dilakukan dengan rangkaian Installation gas dinamis dengan alat Potensiostat, sensitivitas diukur berdasarkan perubahan resistansi dari material  $WO_3$  sebelum dan setelah terpapar gas LPG. Pengujian sensitivitas dilakukan dengan memvariasikan temperatur operasi, yaitu  $30^\circ C$ ,  $50^\circ C$ , dan  $100^\circ C$  serta konsentrasi gas LPG yaitu 10ppm, 50ppm, 100ppm, 150ppm, 200ppm. Hasil Pengujian menunjukkan struktur  $WO_3$  yang terbentuk adalah monoklinik. Peningkatan nilai sensitivitas material sensor berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi gas dan temperature operasi. Nilai sensitivitas tertinggi didapatkan dari material  $WO_3$  yang diberikan temperature pemanasan post hydrothermal  $160^\circ C$  dengan temperature operasi  $100^\circ C$  dan konsentrasi gas LPG 200 ppm.

**Kata Kunci**—Tungsten Trioksida ( $WO_3$ ), Sensor gas LPG, sol-gel, post hydrothermal.

## I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN minyak bumi di Indonesia sendiri sudah sangat besar mencapai 64,472 juta KL pada tahun 2011. Pemerintah dengan programnya “Peralihan Minyak Tanah ke LPG” dalam rangka mengurangi penggunaan BBM bersubsidi, memiliki banyak manfaat dari pada kerugiannya. Selain untuk mengurangi anggaran pemerintahan, meningkatkan efisiensi penggunaan energi, serta mampu untuk mengurangi polusi yang ada. Hal-hal inilah yang menjadikan LPG memiliki nilai yang dirasa lebih jika dibandingkan dengan minyak alam ke LPG. Dalam dunia industri penggunaan LPG pun telah cukup luas. Seperti sebagai bahan bakar, media pendingin, bahan baku, dan lain-

lain. Namun, penggunaan LPG memang tidak semudah penggunaan minyak alam. Karena, resiko ketika terjadi kesalahan dalam penggunaan, akan menimbulkan dampak negatif yang sangat.

Karena hal inilah dibutuhkan alat pendeteksi gas LPG apabila terjadi kebocoran gas sedini mungkin. Namun, selama ini sensor gas LPG yang ada dipasaran kebanyakan adalah produksi luar negeri. Sehingga diperlukan penguasaan dalam hal teknologi sensor mengingat aplikasi dari teknologi ini yang mulai meluas dan berkembang, agar mampu mendorong produksi sensor LPG dalam negeri.

Hingga saat ini penelitian mengenai metal oksida terus berkembang karena aplikasinya yang sangat luas. Aplikasi dari metal oksida antara lain sensor gas beracun, optoelektrokromik serta modulasi optikal, fotokatalis, desain permukaan hidrofilik, dan katalis [1]. Sedangkan metal oksida yang biasanya digunakan untuk pembuatan sensor adalah  $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $ZnO$ , dan  $WO_3$ . Dari berbagai jenis metal oksida tersebut, tungsten trioksida memiliki karakteristik memiliki aspek rasio struktur yang tinggi surface area yang besar, properti optikal, properti magnetic, serta properti elektronik. Tungsten oksida telah diakui menjanjikan sebagai material yang potensial untuk berbagai macam aplikasi seperti sensor gas semikonduktor, material elektroda untuk baterai sekunder, perangkat energi surya, fotokatalis, perangkat penyimpanan optik yang dapat dihapus, dan perangkat emisi [2]. Sehingga diperlukan adanya sebuah penelitian tentang sensor gas LPG dari material  $WO_3$ .

Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh variasi temperatur post hydrothermal terhadap struktur dan sensitivitas sensor terhadap gas LPG, serta menganalisa pengaruh temperatur operasi sensor dan konsentrasi gas LPG terhadap sensitivitas sensor.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Sintesa Tungsten Trioksida( $WO_3$ )

Material tungsten trioksida ( $WO_3$ ) yang digunakan sebagai material sensor gas LPG (Liquified Petroleum Gas) melalui 2 tahapan dalam proses pembentukannya, yaitu proses sol dan gelasi. Untuk memperoleh sol-gel tungsten trioksida dilakukan dengan melarutkan serbuk tungsten (VI) heksaklorida

sebanyak 7 gram dengan 100 ml ethanol ( $C_2H_5OH$ ), dalam pelarutan ini menghasilkan larutan yang berwarna kuning. Kemudian ditambahkan 10 mL  $NH_4OH$  0.5M, dengan penambahan ini membuat larutan berubah warna menjadi biru tua. Kemudian larutan diaduk (*stirring*) dalam temperatur  $0^\circ C$  selama 24 jam. Selama proses pengadukan, prekursor mengalami reaksi pembentukan ikatan alkil dengan alcohol, dimana prekursor inilah yang akan digunakan untuk pembentukan tungsten trioksida ( $WO_3$ ). Setelah diaduk selama 24 jam, kemudian dilakukan proses pencucian dengan ditambahkan *aquades* dan kemudian didiamkan hingga terdapat endapan biru yang terpisah dengan cairannya. Pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan *volatile* yaitu  $Cl^-$ . Pencucian dilakukan hingga tidak terbentuk endapan putih  $AgCl$  ketika cairan ditetesi dengan  $AgNO_3$  3-5 tetes. Setelah tidak terbentuk endapan putih, cairan dan endapan dipisahkan untuk kemudian di-*centrifuge* selama 1 jam dengan kecepatan 2000 rpm. Hasil dari *centrifuge* ini berupa endapan yang lebih sedikit mengandung cairan yang disebut gel. Kemudian gel yang didapatkan dipeptisasi dengan penambahan 5 tetes  $NH_4OH$  0.5 M dan 0.5 ml surfaktan (Triton X-100).

#### B. Post Hydrothermal

Proses post hydrothermal dilakukan dengan bejana yang terbuat dari stainless steel yang didalamnya terdapat wadah dan tutup yang keduanya terbuat dari teflon. Bejana stainless steel menggunakan sistem sekrup untuk menutup teflon. Dalam proses hydrothermal iniyang diinginkan adalah uap air bertekanan tinggi sebagai agen reaksi kristalisasi fasa [3]. Gel  $WO_3$  dimasukkan ke dalam teflon, untuk kemudian dimasukkan ke dalam bejana stainless steel. Lalu, bejana dimasukkan ke dalam *furnace* dan diberikan variasi temperatur post hydrothermal yaitu  $160^\circ C$ ,  $180^\circ C$ , dan  $200^\circ C$  selama 12 jam.

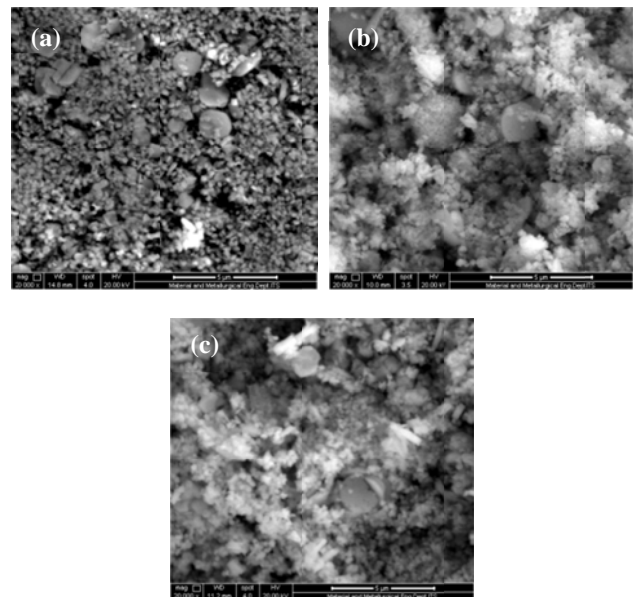
#### C. Proses Pembuatan Pelet Tungsten Trioksida ( $WO_3$ )

Metode kompaksi adalah proses pemampatan serbuk sehingga serbuk saling melekat dan rongga udara antar partikel terdorong keluar. Semakin tinggi tekanan kompaksi porositas di antara partikel semakin kecil, namun porositas tidak mungkin mencapai nilai nol [4].

Serbuk  $WO_3$  yang didapat dari proses sol-gel dan post hydrothermal dikompaksi dengan tekanan 150 bar pada cetakan (dies) pembuatan pellet yang berukuran 14 mm. Untuk pembuatan sebuah pellet dengan ketebalan 3 mm dibutuhkan 3 gr serbuk  $WO_3$ . Pelet yang kemudian dianil pada temperatur  $300^\circ C$  selama 1 jam.

#### D. Metode Pengujian Sensitivitas

Pengujian Pengujian ini dilakukan pada sebuah *chamber* (ruang) yang terbuat dari bahan *stainless steel* dan tekanan di dalam *chamber* dianggap konstan (1 atm). *Chamber* ini dirangkaikan dengan peralatan penunjang, rangkaian ini sering disebut *dynamic gas instalation* Tahap pertama pada pengujian ini adalah persiapan *chamber*, selanjutnya temperatur di control pada  $30^\circ C$  melalui *thermocontroller*. Heater yang digunakan berupa kawat niklin  $\phi$  0.3 mm sepanjang 10 meter dan dibentuk spiral yang ditempatkan didalam batu tahan api. Kemudian mengukur resistansi udara ( $R_0$ ). Setelah diukur  $R_0$ , kemudian campuran LPG dan udara



Gambar 1. Hasil Uji SEM untuk pellet  $WO_3$  sebelum terpapar gas LPG pada perbesaran 20000x untuk temperatur post hydrothermal a)  $160^\circ C$ , b)  $180^\circ C$ , dan c)  $200^\circ C$ .

dimasukkan dengan rasio konsentrasi LPG sebesar 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm. Selanjutnya didapatkan tahanan setelah terpapar gas LPG. Penelitian diulangi untuk temperatur sensor  $50^\circ C$  dan  $100^\circ C$  dengan rasio konsentrasi LPG yang sama, kemudian didapatkan nilai sensitivitasnya dengan rumus:

$$S = |R_g - R_0| / R_0 \quad (1)$$

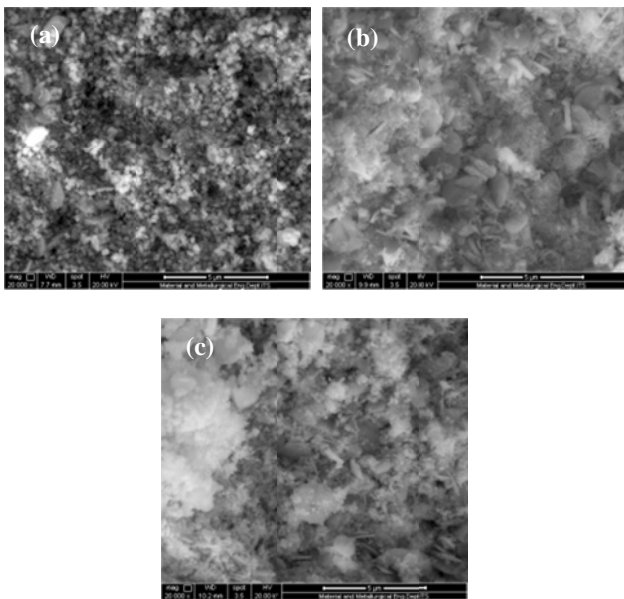
Dimana S adalah nilai sensitivitas material sensor.  $R_g$  adalah resistansi material sensor ketika terpapar gas LPG. Dan  $R_0$  adalah resistansi material sensor ketika belum terpapar gas LPG [5].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Uji SEM

Pengamatan uji *Scanning Electron Microscope* bertujuan untuk mengamati morfologi permukaan pellet tungsten trioksida ( $WO_3$ ). Pengujian SEM menggunakan alat FEI S-50.

Dari hasil pengujian SEM yang telah dilakukan, diperoleh hasil penampakan morfologi sesuai pada Gambar 1. Dari ketiga gambar yang ditampilkan, morfologi permukaan dipengaruhi oleh temperatur post hydrothermal yang diberikan. Pada temperatur  $160^\circ C$  yang ditunjukkan oleh gambar (a), terlihat pada permukaan pellet terdapat partikel dengan bentuk tidak beraturan dan persebaran ukuran yang tidak rata. Pada temperatur  $180^\circ C$  yang ditunjukkan oleh gambar (b), terlihat pada permukaan pellet terdapat sebagian partikel yang beraglomerasi, namun masih terdapat beberapa partikel yang tidak mengalami aglomerasi dan tampak adanya peningkatan ukuran partikel. Pada Temperatur  $200^\circ C$  yang ditunjukkan oleh gambar (c), terlihat pada permukaan pellet dengan temperatur  $200^\circ C$  hampir menyerupai penampakan permukaan pellet dengan temperatur  $180^\circ C$ . Namun pada



Gambar. 2. Hasil Uji SEM untuk pellet WO<sub>3</sub> setelah terpapar gas LPG pada perbesaran 20000x untuk temperatur post hydrothermal a) 160 °C, b) 180 °C, dan c) 200 °C.

Tabel 1. Nilai luas permukaan aktif material WO<sub>3</sub> berdasarkan proses post hydrothermal

Feature	Temperatur Post Hydrothermal (°C)		
	160	180	200
Luas Permukaan Aktif (m <sup>2</sup> /gr)	34.758	23.459	12.766

pellet dengan temperatur 200 °C terlihat adanya daerah penggumpalan yang lebih besar.

Pada pengujian SEM setelah terpapar gas LPG didapatkan adanya perubahan. Perubahan yang terjadi berupa membesarnya ukuran partikel. Namun secara morfologi masih terdapat aglomerasi pada temperature post hydrothermal 180°C dan 200°C. Hal ini dikarenakan adanya perbesaran ukuran kristal akibat waktu pemaparan gas LPG.

**B. Hasil Pengujian BET**

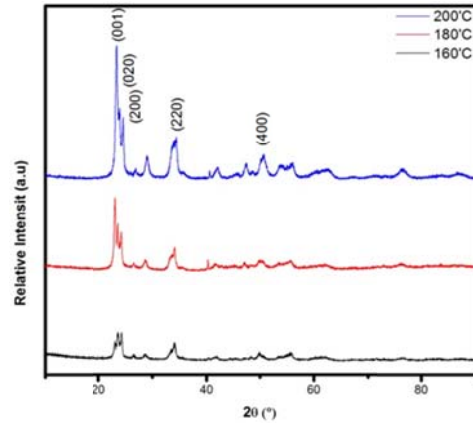
Pengujian Brauner Emmet Teller (BET) dilakukan dengan alat Quantachrom Autosorb iQ untuk mengetahui luas permukaan aktif dari WO<sub>3</sub> dalam bentuk serbuk. Hasil pengujian yang didapat dalam satuan m<sup>2</sup>/gr, dapat dilihat dari Tabel 1. Dari hasil pengujian BET didapatkan bahwa semakin tinggi perlakuan pemanasan post hydrothermal menyebabkan luasan permukaan aktif juga semakin kecil.

Sensitivitas sensor dipengaruhi oleh luasan permukaan aktif dari material sensor. Semakin tinggi luas permukaan aktif material, maka semakin tinggi juga kemampuan adsorpsi material tersebut terhadap gas.

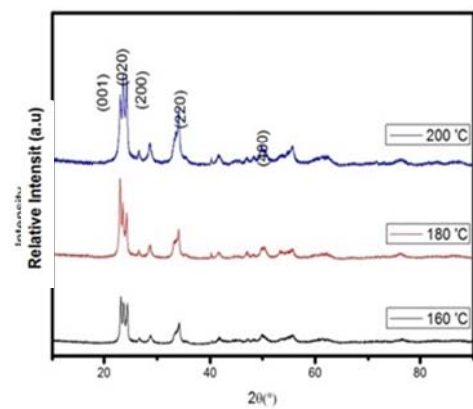
**C. Hasil Uji XRD**

Pengujian XRD yang dilakukan menggunakan range sudut dari 10<sup>0</sup> - 90<sup>0</sup> dan panjang gelombang sebesar 1.54060 Å. Pengujian ini menggunakan alat Philips Analytical

Pada pengujian XRD sebelum terpapar gas LPG Gambar 3 didapatkan bahwa pola XRD pada temperatur 160<sup>0</sup> C menunjukkan orientasi Kristal (001) pada 2θ 23.0640<sup>0</sup>, (020)



Gambar. 3. Hasil pengujian XRD pellet WO<sub>3</sub> sebelum terpapar gas LPG.



Gambar 4. Hasil pengujian XRD pellet WO<sub>3</sub> setelah terpapar gas LPG.

pada 23.6493<sup>0</sup>, (200) pada 24.3493<sup>0</sup>. Dalam penelitian ini yang menjadi variasi adalah temperatur post hydrothermal yaitu 160°C, 180°C dan 200°C dengan waktu tahan selama 12 jam. Dari hasil pengujian XRD ditemukan bahwa fasa yang terjadi pada ketiga sampel tersebut adalah sama, yakni monoklinik. Pada penelitian ini diperlukan suatu analisa lanjut untuk memperoleh pengaruh dari ukuran kristal terhadap fasa yang terbentuk. Ukuran kristal sendiri dapat dihitung sesuai dengan rumus Debye Scherrer [6] yaitu,

$$D = \frac{0.9 \times \lambda}{B \times \cos\theta} \tag{2}$$

$$B^2 = B_m^2 - B_s^2 \tag{3}$$

Dan ukuran kristal untuk tiap variasi post hydrothermal WO<sub>3</sub> dapat dilihat dari Tabel 2.

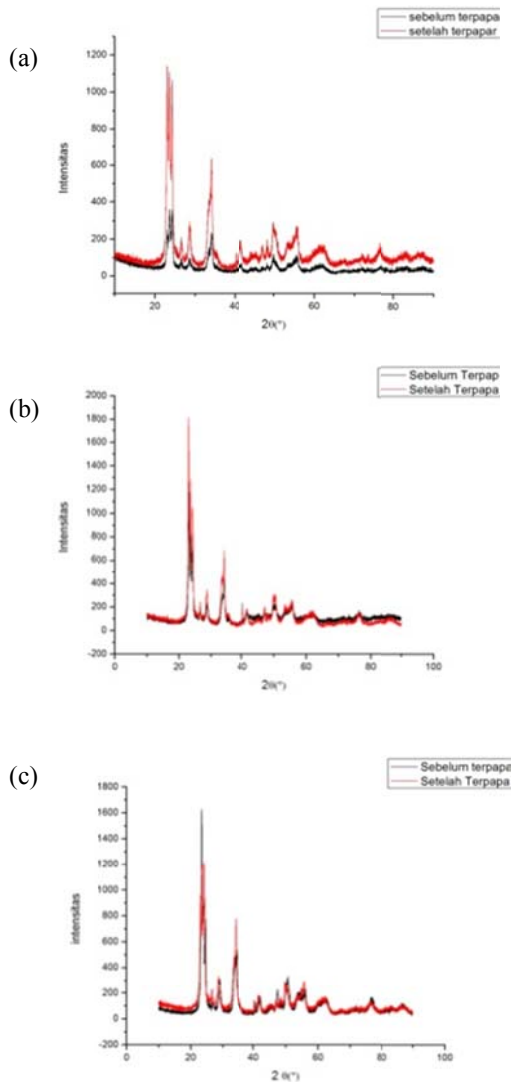
Setelah mengetahui sifat material sensor, diperlukan data pengaruh dari material sensor setelah pemaparan gas LPG. Uji XRD setelah sensor terpapar gas ditujukan untuk mengetahui apakah ada perubahan fasa dari material sensor setelah terpapar gas LPG. Pengujian dilakukan dengan panjang gelombang dan range sudut yang sama dengan pengujian XRD sebelum terpapar gas LPG.

Pada pengujian XRD material tungsten trioksida setelah terpapar gas LPG ditunjukkan oleh Gambar 4. dari grafik yang

Tabel 2.

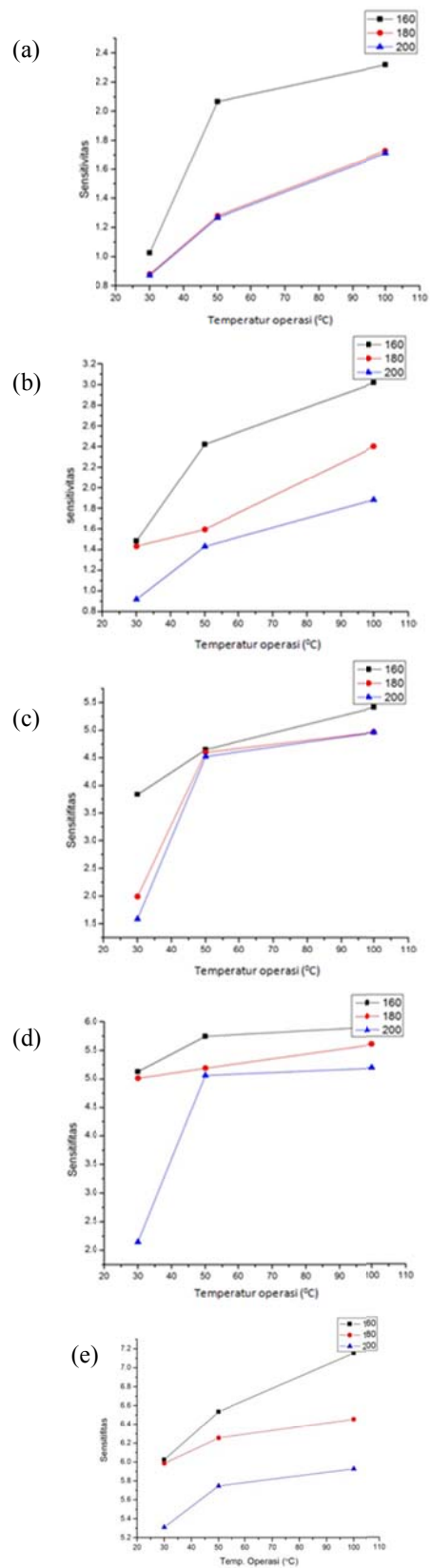
Tabel pengukuran ukuran kristal WO<sub>3</sub> untuk tiap variasi post hydrothermal sebelum dan setelah terpapar gas LPG.

Temperatur (°C)	Sebelum D (Å)	Sesudah D (Å)
160	679.8666	1146.872
180	1426.749	1458.962
200	1791.7	2460.996

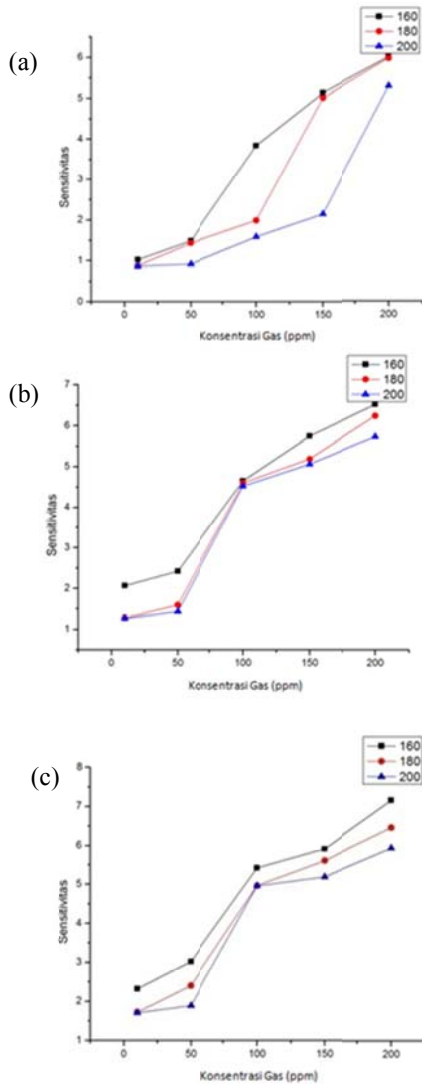


Gambar 5. Hasil perbandingan grafik XRD sensor WO<sub>3</sub> sebelum dan sesudah terpapar gas LPG untuk variasi temperature post hydrothermal a)160°C, b) 180°C, dan c)200°C.

dihasilkan didapatkan bahwa pola XRD pada temperatur ketiga grafik menunjukkan orientasi Kristal (001) pada 2θ 23.0640°, (020) pada 23.6493°, (200) pada 24.3493°. Dari hasil pengujian XRD ditemukan bahwa fasa yang terjadi pada ketiga sampel tersebut adalah monoklinik. Dengan ukuran kristal ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Gambar 5 dapat dilihat perbandingan dari material sensor sebelum dan sesudah terpapar gas LPG. Dari perbandingan grafik XRD sebelum dan setelah terpapar gas LPG terlihat adanya peningkatan



Gambar 6. Menunjukkan pengaruh temperatur operasi terhadap sensitivitas sensor untuk konsentrasi gas LPG a)10ppm, b)50ppm, c)100ppm, d)150ppm dan e)200 ppm.



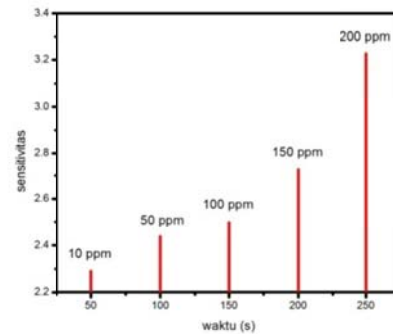
Gambar 7. Menunjukkan pengaruh konsentrasi gas LPG terhadap sensitivitas sensor untuk temperatur operasi a) 30°C, b) 50°C dan c) 100°C

intensitas. Peningkatan waktu pemaparan gas menyebabkan penambahan rata-rata ukuran partikel. Hal ini dikarenakan waktu reaksi yang lama menyebabkan pertumbuhan partikel untuk menjadi lebih besar [7].

**D. Hasil Uji Sensitivitas**

Nilai sensitivitas sensor WO<sub>3</sub> didasarkan pada temperature operasi dan konsentrasi gas LPG. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Sensitivitas sensor dapat diketahui berdasarkan perubahan resistansi material sensor yang terpapar gas LPG terhadap material sensor yang belum terpapar gas LPG. Perhitungan nilai sensitivitas dapat diketahui melalui persamaan (1), dimana S adalah sensitivitas sensor, R<sub>g</sub> adalah resistansi material setelah terpapar gas LPG dan R<sub>0</sub> adalah resistansi material sebelum terpapar gas LPG. Meskipun proses post hydrothermal memiliki waktu reaksi yang lebih lama dibanding dengan perlakuan panas lain seperti kalsinasi, proses ini menghasilkan partikel yang tinggi dengan



Gambar 8. Menunjukkan nilai respon dinamis untuk material WO<sub>3</sub> dengan temperature post hydrothermal 160°C dan temperature operasi 100°C.

pengontrolan ukuran partikel yang lebih baik [8]. Sehingga menghasilkan luas permukaan yang juga semakin besar.

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi gas LPG, maka semakin tinggi sensitivitas material sensor WO<sub>3</sub>. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi gas yang terpapar pada material sensor, maka semakin banyak lapisan O<sup>-</sup> yang berikatan dengan gas LPG, sehingga menyebabkan semakin banyak elektron dari WO<sub>3</sub> yang terikat oleh O<sub>2</sub> untuk menjadi O<sup>-</sup>. Dengan berkurangnya elektron dari WO<sub>3</sub> menyebabkan konduktivitas material berkurang, sehingga sensitivitas material sensor semakin tinggi [9].

Gambar 7 menjelaskan bahwa adanya peningkatan nilai sensitivitas seiring dengan peningkatan temperatur operasi dari 30°C hingga 100°C. Dalam proses adsorpsi gas LPG pada material sensor tungsten trioksida (WO<sub>3</sub>) menggunakan reaksi chemisorpsi dimana terdapat potential barrier yang terbentuk diantara permukaan material sensor dengan lingkungan di dalam chamber. Berat jenis dari elektron WO<sub>3</sub> naik seiring dengan naiknya temperatur. Karena hal ini, elektron dapat dengan mudah melewati barrier dan mempercepat reaksi dengan molekul gas LPG sehingga menyebabkan kenaikan sensitivitas. Respon sensor gas LPG didapatkan dari perbedaan reaksi adsorpsi akibat dari temperatur operasi. Temperatur operasi mempengaruhi kecepatan reaksi adsorpsi [7].

**E. Pengujian Respon Dinamis**

Pengujian Respon dinamis dimaksudkan untuk mengetahui tingkat sensitivitas suatu material dalam merespon keberadaan suatu gas uji, dalam hal ini adalah gas LPG. Respon dapat diketahui melalui perubahan resistansi material sensor ketika terpapar gas uji dengan konsentrasi dan waktu tertentu.

Pengujian respon dinamis yang dilakukan pada pellet tungsten trioksida (WO<sub>3</sub>) hasil post hydrothermal pada temperatur 160 °C dan temperature operasi 100 °C. Material ini dipilih karena memiliki luas permukaan aktif yang paling tinggi dari material tungsten trioksida (WO<sub>3</sub>) hasil post hydrothermal pada temperatur 180 °C dan 200 °C. Karena memiliki luas permukaan aktif yang paling tinggi, maka material ini memiliki sensitivitas yang paling tinggi.

Dari hasil pengujian respon dinamis pada Gambar 8 didapatkan adanya kenaikan nilai sensitivitas pada material sensor seiring dengan peningkatan konsentrasi gas LPG yang dimasukkan ke dalam chamber. Sebelumnya pernah dilakukan pengujian respon dinamis pada material tungsten oxide

nanorods terhadap gas NO<sub>2</sub>. Pada pengujiannya, sensor gas dipaparkan oleh gas NO<sub>2</sub> dengan variasi 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 10 ppm, dan 20 ppm selama 160 menit, dan menunjukkan adanya kenaikan sensitivitas yang berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi gas NO<sub>2</sub> [10].

#### IV. KESIMPULAN

Dari Penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Material tungsten trioksida (WO<sub>3</sub>) dapat diperoleh dengan proses sol-gel dan post hydrothermal.
2. Dari hasil pengujian XRD material WO<sub>3</sub> hasil post hydrothermal dengan variasi temperature 160<sup>0</sup>C, 180<sup>0</sup>C, dan 200<sup>0</sup>C didapatkan material WO<sub>3</sub> dengan struktur Kristal monoklinik.
3. Pada hasil pengujian BET, nilai luas permukaan aktif tertinggi didapatkan pada material WO<sub>3</sub> dengan perlakuan post hydrothermal 160<sup>0</sup>C.
4. Berdasarkan hasil pengujian SEM terlihat pada penampakan morfologi WO<sub>3</sub> yang diberi perlakuan post hydrothermal 180<sup>0</sup>C dan 200<sup>0</sup>C terdapat adanya aglomerasi.
5. Hasil Pengujian sensitivitas menunjukkan adanya peningkatan nilai sensitivitas akibat pengaruh konsentrasi gas dan temperature operasi.
6. Dari penelitian ini didapatkan nilai sensitivitas tertinggi pada material WO<sub>3</sub> hasil perlakuan temperature post hydrothermal 160<sup>0</sup>C dengan temperatur operasi 100<sup>0</sup>C dan konsentrasi gas LPG 200 ppm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang, S.H., Tse C.C. dan Chung C.L. 2003. "Nano-crystalline tungsten oxide NO<sub>2</sub> sensor". Sensors and Actuators B 94 : 343-351.
- [2] Ha, J.H., Muralidharan, dan Kim D.K. 2009. "Hydrothermal synthesis and characterization of self-assembled h-WO<sub>3</sub> nanowires/nanorods using EDTA salts". Journal of Alloys and Compounds 475 (2009) 446-451.
- [3] Huirache-Acuña, R., F. Paraguay-Delgado, F., M.A.Albiter, J.Lara-Romero,R., and Martínez-Sánchez. "Synthesis and characterization of WO<sub>3</sub> nanostructures prepared by an aged hydrothermal". Materials Characterization 60 (2009).
- [4] Kalpakjian, S., 2003. "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Fourth Edition, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- [5] Xie, G., Junsheng Y.X.C, dan Yadong J. 2006. "Gas sensing characteristics of WO<sub>3</sub> vacuum deposited thin films". Sensors and Actuators B 123: 909-914.
- [6] Cullity B.D. dan Stock S.R.. 2001. "Elements of X-Ray Diffraction". Reading Massachusetts Menlo Park California London Amsterdam Don Mills Ontario Sydney : Addison-wesley Publishing Company, inc.
- [7] Shinde,V.R., Gujar, T.P., Lokhande, C.D., Mane, R.S., dan Han, S.H. 2006. "Development of morphological dependent chemically deposited nanocrystalline ZnO films for liquefied petroleum gas (LPG) sensor". Hanyang University:Seoul 133-791
- [8] Rahmiyanti, F. 2012. "Pengaruh Temperatur Perlakuan Pasca-Hidrothermal Terhadap Karakteristik Nanopartikel ZnO dan Core Shell Zn@SiO<sub>2</sub> untuk Aplikasi Pelabelan Sel". Skripsi S1 Jurusan Teknik Metalurgi dan Material UI.
- [9] Perdana, A.S. dan Susanti, D. 2013. "Pengaruh Variasi Temperatur Post Hydrothermal Terhadap Sensitivitas Sensor Gas CO dari Material WO<sub>3</sub> Hasil Proses Sol-Gel" Skripsi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- [10] Liu,Z., Miyachi, M., Yamazaki, T., dan Shen, Y. "Facile synthesis and NO<sub>2</sub> gas sensing of tungsten oxide nanorods assembled micropores". Journal of Sensors and Actuators B 140 (2009) 514-519