

SINTESIS NANOSTRUKTUR ZnO DENGAN METODE HIDROTHERMAL UNTUK APLIKASI SENSOR GAS BUTANA
SYNTHESIS OF ZnO NANOSTRUCTURE USING HYDROTHERMAL METHOD FOR APPLICATION OF BUTANE GAS SENSOR

Vivia Puji Lestari¹, Abrar², Indra Wahyudin Fathona³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹viviahandoko@gmail.com, ²abrarselah@gmail.com, ³indrafathonah@gmail.com

Abstrak

Nanostruktur Zink Oksida (ZnO) telah berhasil disintesis diatas substrat alumina dengan metode hidrotermal. Metode hidrotermal terdiri dari dua tahapan yaitu pemberian *seeding layer* dan penumbuhan nanostruktur ZnO. 0,4 M *Zinc Acetate Dihydrate* ((Zn(O₂CCH₃)₂(H₂O)₂) dan 3 M Natrium Hidroksida (NaOH) digunakan sebagai prekursor. Proses hidrotermal dilakukan dengan suhu 90°C selama 4 jam. Karakterisasi morfologi nanostruktur ZnO menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menghasilkan ukuran diameter sebesar 60-80 nm dan panjang 600-800 nm berbentuk *nanoflowers*. Karakterisasi struktur kristal dengan XRD menunjukkan nanostruktur ZnO adalah kristal berwujud *wurzite* dalam bentuk *hexagonal* dan memiliki ukuran kristalit sebesar 59 nm. Karakteristik I-V nanostruktur ZnO menunjukkan nilai arus berbanding lurus dengan tegangan membentuk kurva ohmic. Nanostruktur ZnO dengan ukuran kecil dan persebaran pertumbuhan merata menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang baik. Nanostruktur ZnO berpotensi sebagai sensor gas karena responsif terhadap keberadaan gas butana. Pada laju aliran gas butana 200 mL/menit nanostruktur ZnO mengalami perubahan resistansi sebesar 0,17 MΩ/s dengan waktu pemulihan selama 30 detik ketika terpapar gas butana selama satu menit. Nanostruktur ZnO juga memiliki perubahan sensitivitas sebesar 0,000495 MΩ/mL pada rentang laju aliran gas 50-250 mL/menit.

Kata kunci: hidrotermal, nanostruktur ZnO, sensor gas

Abstract

Zinc Oxide (ZnO) nanostructures has been successfully synthesized on the surface of Alumina substrate by hydrothermal method. Hydrothermal method consists of two steps, i.e., the seeding layers process and the growth of nanostructures ZnO. 0,4 M Zinc Acetate Dihydrate ((Zn(O₂CCH₃)₂(H₂O)₂) and 3 M Natrium Hydroxide (NaOH) was used as the precursors. Hydrothermal process were carried out at 90°C for 4 hours. The results of ZnO nanostructures morphology characterized by using Scanning Electron Microscope (SEM) show the diameter ranging from 60-80nm and length 600-800nm with nanoflowers shapes. Crystal structures characterized using XRD show the ZnO nanostructures forms a wurzite hexagonal pattern with crystallite size 59nm. The results of I-V characterized shown the current value is directly proportional to the applied voltage obtained ohmic curve. Small size and wide spread of ZnO nanostructures performs good electrical conductivity. ZnO nanostructures has a good potential as gas sensors by their responsiveness of butane gas. The resistance value of ZnO nanostructures change for 0,17 MΩ/s at 200 mL/minute flow of butane gas with the speed of recovery time were 30 second as exposed to butane gas for one minutes. ZnO nanostructures change of sensitivity value by 0,000495 MΩ/mL at butane gas flow ranging from 50-250 mL/minute.

Keywords: hydrothermal, ZnO nanostructures, gas sensor

1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Dewasa ini polusi udara telah menjadi pencemaran lingkungan yang cukup mengkhawatirkan. Beberapa faktor yang mempengaruhi polusi udara diantaranya adalah gas buang kendaraan, aktivitas industri, hingga aktivitas rumah tangga. Untuk mengurangi dampak berbahaya dari gas beracun pada polusi udara, diperlukan adanya teknologi yang dapat mendeteksi keberadaan gas berbahaya tersebut. Sensor gas berukuran nano merupakan salah satu solusi yang tengah dikembangkan oleh para peneliti dari tahun ke tahun. Semikonduktor logam oksida digunakan dalam fabrikasi nanosensor gas karena memiliki sensitivitas tinggi, dapat mendeteksi gas dengan baik, mudah difabrikasi dan murah [1]. Material semikonduktor logam oksida yang dimanfaatkan sebagai sensor gas diantaranya adalah ZnO, SnO₂, WO₃, Ga₂O₃, TiO₂ dan Fe₂O₃ [2]. Diantara material tersebut, ZnO merupakan material yang paling banyak dikembangkan oleh para peneliti. Keunggulan ZnO diantaranya adalah mobilitas elektron tinggi, celah energi pita besar, energi ekstiasi tinggi, transparan terhadap cahaya tampak, antibakteri, tidak beracun dan memiliki stabilitas termal yang cukup baik [3].

Beberapa metoda dalam penumbuhan nanostruktur diantaranya *nya sol gel, vapor deposition, thermal*

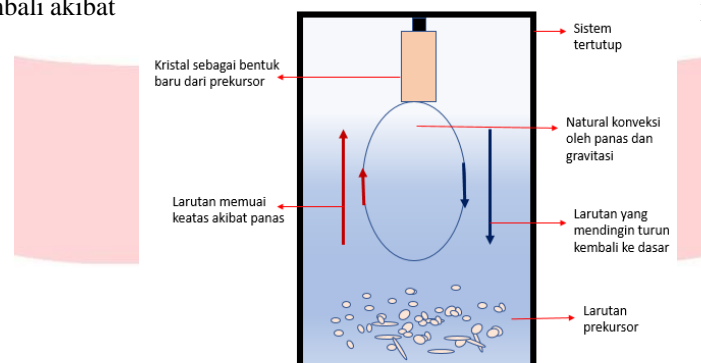
evaporation, electrodeposition, hydrothermal dan sebagainya. Beberapa metoda tersebut memiliki kekurangan, seperti metoda *sol gel* [4] dan *electrodeposition* [5] yang membutuhkan biaya tinggi tetapi kontrol komposisi masih kurang. Untuk metoda *vapor deposition* dan *thermal evaporation* homogenitas dan selektivitas nanostruktur yang dihasilkan kurang baik [6]. Metoda hidrotermal memiliki beberapa kelebihan diantaranya efisien, murah dan mudah. Yanhong Tong dkk [7] telah berhasil menumbuhkan berbagai variasi bentuk nanostruktur menggunakan metoda hidrotermal. Bin Liu dan Hua Chun Zheng [8] berhasil memperoleh tingkat kristalinitas morfologi sebesar 50nm dengan metode hidrotermal.

Sintesis nanostruktur ZnO yang telah dipaparkan diatas meski mendapat hasil yang baik masih memiliki beberapa kekurangan, diantaranya proses tersebut masih menggunakan *hexamethylenetetramine* (HMT) sebagai prekursor. Diketahui HMT ini tergolong sulit dan mahal untuk didapatkan. Selain itu penelitian sebelumnya menggunakan jangka waktu yang lama dalam proses hidrotermal, yaitu hingga 24 jam. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penumbuhan nanostruktur ZnO menggunakan metode hidrotermal dengan alternatif prekursor yang lebih mudah didapat yaitu menggunakan *Natrium Hidroksida* (NaOH) serta waktu penumbuhan yang relatif lebih singkat. Sehingga dapat disintesis nanostruktur ZnO yang digunakan sesuai dengan kebutuhan, salah satunya adalah untuk aplikasi nanosensor gas

2. Dasar Teori

2.1 Hidrotermal

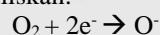
Hidrotermal dapat didefinisikan sebagai reaksi kimia heterogen dengan pelarut berbasis air yang memiliki kelarutan substansi tinggi dengan kondisi lingkungan selama proses berlangsung bersuhu di atas suhu ruangan dan bertekanan lebih besar dari 1 atm dalam sistem tertutup. Proses Hidrotermal didorong oleh konveksi oleh panas dan gravitasi yang terjadi didalam sistem tertutup. Akibat adanya konveksi maka kandungan dalam prekursor naik keatas menempel pada media membentuk kristal baru. Beberapa kandungan yang tidak terkristalisasi turun kembali ke dasar akibat gravitasi, panas secara berulang.



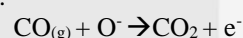
Gambar 2.1 Skema Umum Proses Hidrotermal

2.2 Nanostruktur ZnO sebagai Sensor Gas

Zinc Oxide adalah salah satu metal oksida dengan rumus kimia ZnO, yang tersusun oleh unsur Zn^{2+} sebagai kation dan O^{2-} sebagai anion. Sebagai material semikonduktor, ZnO memiliki stabilitas termal yang baik serta memiliki mobilitas elektron tinggi akibat energi eksitasi yang tinggi sehingga ZnO dapat digunakan sebagai pendeteksi gas yang baik. Mekanisme ZnO dalam mendeteksi gas berbasis pada kontrol morfologinya yaitu, ukuran rods, lebar permukaan serta kuantitas adsorpsi oksigen terhadap gas. Karena sifat-sifat ZnO yang mendukung maka ZnO akan dengan mudah memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas, sehingga *time respon* terhadap gas akan menjadi lebih cepat. Pada keadaan lingkungan biasa, oksigen akan terserap pada permukaan nanostruktur ZnO kemudian mengekstraksi elektron dari pita konduksi dan menghasilkan O^- pada permukaan. Reaksi oksidasi tersebut dapat dituliskan:



Kemudian ketika permukaan nanostruktur ZnO terpapar gas pereduksi, gas akan bereaksi dengan O^- melepaskan kembali elektron ke pita konduksi sehingga konsentrasi dan mobilitas ZnO meningkat. Proses tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :



3. Pembahasan

3.1 Sintesis Nanostruktur ZnO: *Seeding Layer*

Proses penumbuhan yang bertahap ditujukan untuk memperoleh nanostruktur yang terbaik, selain itu

variasi parameter penumbuhan juga dilakukan untuk mengetahui komposisi yang ideal dalam sintesis nanostruktur ZnO. Adapun variasi parameter dalam penelitian dirangkum pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 1 Variasi Parameter Penelitian

No.	Parameter	Variasi			
1	Pelarut	Akuades	Ethanol	Methanol	
2	Substrat	Alumina		Kaca	
3	<i>Seeding Layer</i>	<i>Seeding</i>		<i>Non Seeding</i>	
4	Molaritas <i>Seeding Layer</i>	0.05M	0.10M	0.15M	0.30 M
5	Waktu Hidrotermal	2 jam	4 jam	6 jam	

Proses sintesis diawali dengan tahapan pemberian *seeding layer*, kegiatan diawali dengan melarutkan 1,976 gram *Zinc Acetate Dihydrate* ($Zn(O_2CCH_3)_2(H_2O)_2$) 0,3 M merk Merck, 99.99% ke dalam 20 mL etanol. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dalam keadaan dipanaskan hingga suhu mencapai 60° C. Penambahan suhu dilakukan supaya larutan ZnAc menjadi homogen. Tahapan pemberian *seeding layer* dilanjutkan menggunakan metode *dip coating* dengan selang waktu 5 menit.

Setelah proses *dipcoating* dilakukan, substrat diletakkan kedalam wadah alumunium foil untuk di- *soft baking* dalam 110°C menggunakan oven selama 15 menit. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan etanol pada substrat.

3.2 Sintesis Nanostruktur ZnO:Hidrotermal

Pada proses ini digunakan 0,4 M *Zinc Acetate Dihydrate* ($Zn(O_2CCH_3)_2(H_2O)_2$) powder merk Merck, 99.99% dan 3 M *Natrium Hydroxide* (NaOH) pellet merk Merck, 99.99% sebagai prekursor. Masing-masing larutan *Zinc Acetat Dihydrate* dan NaOH diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Kemudian kedua larutan dicampur kedalam satu gelas beaker ukuran 50 mL untuk kembali diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit.

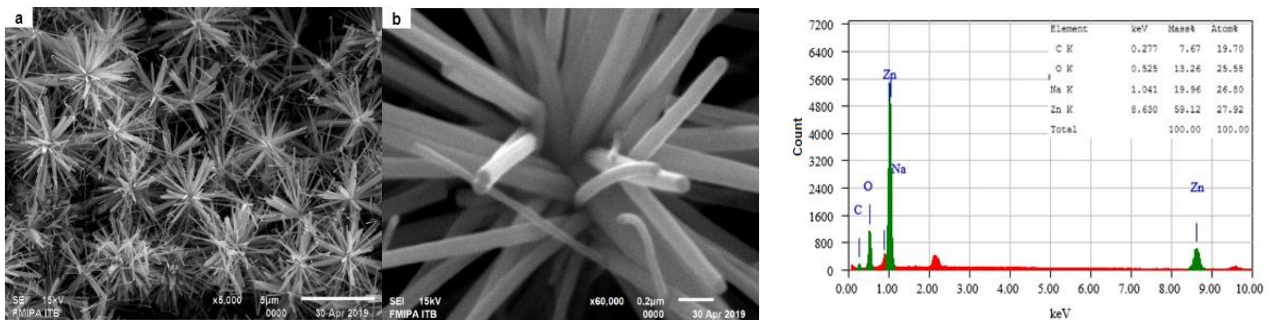
Setelah proses pembuatan larutan selesai dilakukan, larutan dituang kedalam botol penumbuhan. Botol penumbuhan yang dipilih adalah botol merk *Schott Duran* berukuran 50 mL. Pada tutup botol ditempelkan lilitan timah menggunakan *duct tape foam* dan *thermal kapton tape* sebagai media untuk meletakkan substrat. Substrat yang telah melewati tahap *seeding layer* diletakkan pada susunan tutup botol dengan keadaan menggantung. Posisi substrat yang menggantung diharapkan untuk memudahkan proses hidrotermal terjadi sesuai dengan proses konveksi alami oleh panas dan gravitasi. Partikel dalam larutan akan dengan mudah naik keatas akibat adanya penambahan panas dan tekanan dari luar sehingga proses kristalisasi nanostruktur dapat terjadi diatas substrat yang diletakkan menggantung. Proses sintesis dilanjutkan dengan memasukkan botol ke dalam oven dengan suhu pemanasan sebesar 90° C. Substrat yang telah ditumbuhi nanostruktur ZnO dicuci menggunakan etanol untuk menghilangkan sisa *Zinc acetate* yang menempel pada substrat. Proses pencucian dilakukan dengan meneteskan etanol menggunakan pipet diatas substrat sebanyak 10-15 tetes, kemudian substrat dibiarkan kering dalam suhu ruangan.

3.3 Hasil Sintesis dan Karakterisasi Konduktivitas Listrik

Sampel ZnO yang telah berhasil disintesis sesuai Tabel 3.1 menunjukkan bahwa morfologi nanostruktur berpengaruh terhadap konduktivitas listriknya. Semakin ukuran nanostruktur kecil dan persebarannya merata maka memudahkan elektron ZnO untuk bereksitasi sehingga nilai konduktivitas akan semakin baik dan membentuk kurva ohmic. Pada penelitian ini parameter penumbuhan terbaik adalah nanostruktur ZnO yang disintesis oleh pelarut akuades diatas substrat Alumina dengan pemberian *seeding layer* 0,05 M selama 4 jam hidrotermal. Perbedaan morfologi terhadap kurva konduktivitas listrik dapat diamati pada Lampiran.

3.4 Hasil Karakterisasi Morfologi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

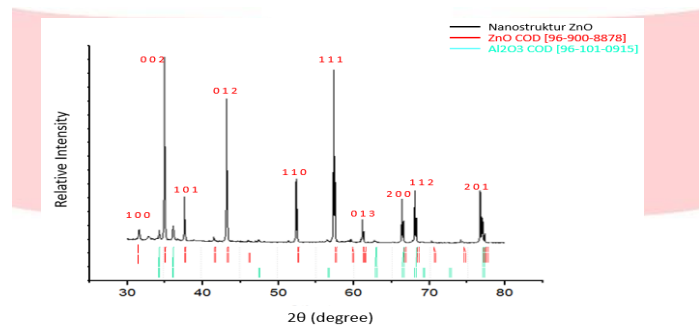
Karakterisasi morfologi dengan SEM menunjukkan bahwa sampel membentuk *nanoflowers*. *Nanoflowers* merupakan sebutan lain dari nanostruktur yang berbentuk rods tetapi menyerupai *flowers* atau bunga. Hasil penelitian ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa sintesis nanostruktur ZnO menggunakan prekursor dengan pH tinggi atau bersifat basa seperti NaOH atau KOH akan memiliki bentuk nanostruktur menyerupai *flowers* [9]. Nanostruktur ZnO diketahui memiliki diameter sebesar 60-80nm dengan panjang 600-800nm. Uji dengan EDS menunjukkan nanostruktur ZnO memiliki komposisi material dari sampel nanostruktur ZnO terdiri dari unsur Zn, O, C dan Na. Masing-masing unsur tersebut merupakan kandungan dari prekursor *Zinc Acetate Dihydrate* ($(Zn(O_2CCH_3)_2(H_2O)_2)$) dan NaOH. Kandungan Zn dominan yaitu sebesar 59,12% dan O sebesar 13,96 menandakan sampel terbukti ZnO. Adapun unsur C dan Na menandakan bahwa ada beberapa unsur dari kandungan prekursor yang tidak hilang selama proses sintesis. Gambar Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM dan EDS dapat diamati pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 (kiri) Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM: (a) perbesaran 5000x (b) 60.00x (kanan) Grafik Komposisi ZnO oleh EDS

3.5 Hasil Karakterisasi Struktur Kristal dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Hasil grafik pola difraksi XRD membentuk puncak-puncak pada posisi tertentu. Puncak-puncak yang teramati berbentuk *sharp* dan *narrow* mengindikasikan bahwa sampel membentuk struktur kristal. Hasil puncak-puncak sampel bersesuaian dengan database ZnO referensi COD [96-900-8877] (pada gambar berupa garis berwarna merah dibawah grafik) dalam posisi 31,6° dengan orientasi (100), 35° pada (002), 37,65° pada (101) dan 43,19° pada (012) mengindikasikan struktur kristal ZnO berwujud *wurtzite* dengan bentuk *hexagonal*. Pada grafik teramati ada beberapa puncak lain yang tidak bersesuaian dengan posisi puncak pada database ZnO. Puncak lain tersebut bersesuaian dengan database Al₂O₃ COD [96-101-0915] (pada gambar merupakan garis berwarna hijau dibawah grafik). Puncak-puncak lain ini muncul karena nanostruktur ZnO ditumbuhkan diatas substrat alumina, sehingga pada saat pengujian dengan XRD bagian substrat alumina turut terdifraksi oleh sinar X. Berdasarkan persamaan *Scherrer* diperoleh ukuran kristalit nanostruktur ZnO sebesar 59 nm dengan ukuran kisi sebesar a : 3.26664 Å dan c: 5.1232 Å. Pola difraksi nanostruktur ZnO dapat diamati pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pola Difraksi XRD

3.6 Aplikasi Nanostruktur ZnO Sebagai Sensor Gas

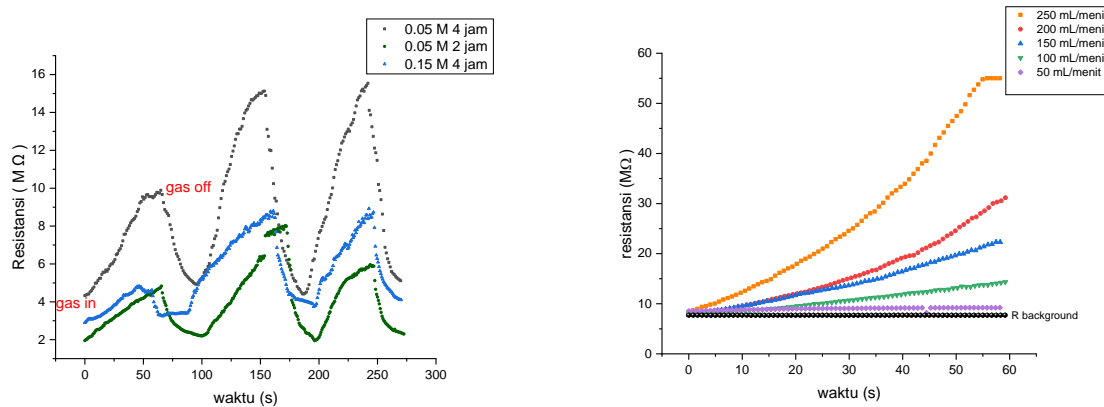
Untuk mengetahui potensi nanostruktur ZnO sebagai sensor gas dilakukan uji respon terhadap keberadaan gas butana. Dipilih tiga sampel terbaik berdasarkan hasil uji konduktivitas listrik dengan linearitas terbaik. Tiga sampel terbaik yaitu nanostruktur ZnO dengan *seeding layer* 0,05 M 2 jam, nanostruktur ZnO 0,05 M 4 jam dan nanostruktur ZnO 0,15 M 4 jam yang masing-masing ditumbuhkan diatas substrat alumina dengan pelarut akuades. Pengujian dilakukan dengan mengalirkan gas butana dengan laju aliran 200 mL/menit. Perubahan resistansi mengindikasikan respon sampel terhadap keberadaan gas butana. Pada Gambar 3.3 grafik kurva sampel dengan *seeding layer* 0.05 M 4 jam hidrotermal (warna hitam) menunjukkan perubahan resistansi tercepat sebesar 0,170 MΩ/s. Kemudian sampel *seeding layer* 0.05 M 2 jam hidrotermal (warna hijau) sebesar 0,053 MΩ/s dan *seeding layer* 0.15 M 4 jam hidrotermal (warna biru) sebesar 0,052 MΩ/s. Ketiga sampel yang terpapar gas butana selama ± 1 menit memiliki waktu pemulihan yang relatif sama yaitu selama ± 30 detik. Waktu Pemulihan adalah waktu yang dibutuhkan sampel dalam kembali ke resistansi awal setelah gas butana dihilangkan. Kenaikan resistansi dan lama waktu terpapar gas butana serta pemulihannya untuk masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Respon Time dan Recovery Time Nanostruktur ZnO

No.	Sampel	Kenaikan Resistansi (MΩ/s)	Waktu Terpapar (s)	Waktu Pemulihan (s)
1	0,05 M 4 jam	0,17	59,1	28,71
2	0,15 M 4 jam	0,053	60,83	30,96
3	0,05 M 2 jam	0,052	60,75	30,89

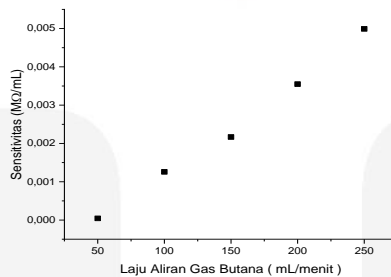
Sampel dengan perubahan resistansi tertinggi, diukur kembali perubahan resistansi nya selama satu menit dengan variasi laju aliran gas butana antara 50-250 mL/menit. Pada keadaan normal yaitu sampel

terpapar udara biasa dengan aliran 50-500mL/menit resistansi bahan terukur stabil sebesar 7,7 M Ω (*R background*). Hal ini menunjukkan tidak ada gangguan udara luar yang mempengaruhi resistansi awal. Kemudian ketika sampel dialiri gas butana dengan laju aliran 50mL/menit terjadi perubahan resistansi hingga 9,22 M Ω . Bersamaan dengan bertambahnya laju aliran gas butana perubahan resistansi menjadi semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sampel mampu membedakan kondisi lingkungan antara udara biasa dan gas butana, serta memiliki nilai respon yang berbeda pada berbagai variasi laju aliran gas butana. Semakin besar laju aliran gas butana yang diberikan maka semakin cepat kenaikan resistansi sampel sehingga sampel dapat dinyatakan responsif terhadap perubahan aliran gas. Grafik perubahan resistansi tersedia pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 (kiri) perubahan resistansi terhadap 3 sampel terbaik (kanan) perubahan resistansi tertinggi gambar (kiri) dengan variasi laju aliran 50-250 mL

Berdasarkan grafik pada Gambar 3.3 sebelah kanan disimpulkan bahwa nilai sensitivitas bergantung pada laju aliran gas butana. Semakin besar laju aliran gas butana yang dipaparkan terhadap sampel maka semakin tinggi nilai sensitivitasnya. Sampel memiliki perubahan sensitivitas sebesar 0,000495 M Ω /mL pada rentang laju aliran gas 50-250 mL/menit. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sampel memiliki perubahan sensitivitas tetapi perubahan sensitivitas sampel relatif tidak besar walaupun sampel terpapar beragam laju aliran gas butana. Sehingga sampel nanostruktur ZnO berpeluang menjadi sensor gas butana. Grafik perubahan sensitivitas nanostruktur ZnO terhadap laju aliran gas butana ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik Perubahan Sensitivitas Nanostruktur ZnO terhadap Laju Aliran Gas Butana

4. Kesimpulan

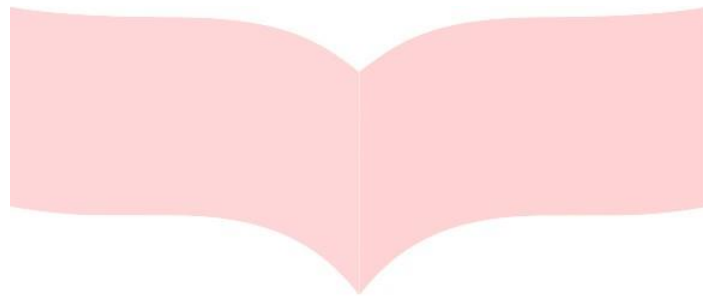
Nanostruktur ZnO berhasil disintesis dengan metode hidrotermal. Metode hidrotermal dilakukan dengan dua tahapan yaitu tahapan *pre-treatment* dan hidrotermal. *Pre-treatment* dilakukan dengan pemberian *seeding layer* 0,05 M melalui metode *dipcoating*. Sintesis hidrotermal menggunakan 0,4 M *Zinc Acetate Dihydrate* dan 3 M NaOH dalam pelarut akuades dengan waktu hidrotermal selama 4 jam menghasilkan nanostruktur ZnO berukuran kecil dengan persebaran pertumbuhan merata. Hasil karakterisasi morfologi menggunakan SEM menghasilkan nanostruktur ZnO berbentuk *nanoflowers* dengan ukuran diameter sebesar 60-80 nm dan panjang 600-800 nm. Hasil karakterisasi struktur kristal menggunakan XRD menunjukkan nanostruktur ZnO memiliki struktur kristal hexagonal *wurtzite* dengan ukuran kristalit sebesar 59 nm dan memiliki ukuran kisi a: 3.26664 Å serta c: 5.1232 Å.

Uji konduktivitas listrik menunjukkan pengaruh morfologi terhadap konduktivitas. Semakin kecil ukuran dan merata persebaran pertumbuhan nanostruktur maka nilai konduktivitas listrik akan semakin tinggi ditandai dengan penurunan nilai resistansinya dan membentuk kurva ohmic.

Nanostruktur ZnO berpotensi sebagai sensor gas karena responsif terhadap keberadaan gas butana yang ditandai oleh perubahan resistansi sebesar 0,17 M Ω /s pada laju aliran gas 200 mL/menit dengan waktu pemulihan selama 30 detik ketika terpapar gas butana selama satu menit. Nanostruktur ZnO juga memiliki perubahan sensitivitas sebesar 0,000495 M Ω /mL pada rentang laju aliran gas 50-250 mL/menit.

Daftar Pustaka

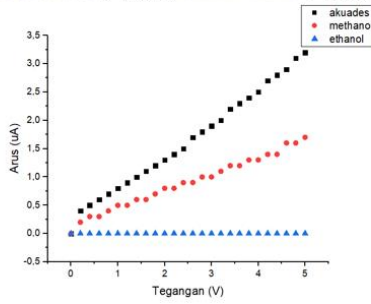
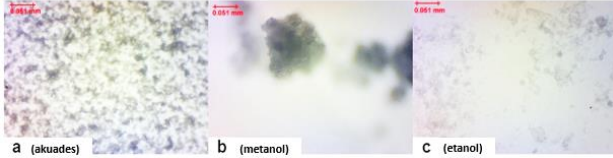
- [1] T.H, Wang; T, Gao, "Synthesis and Properties of Miltipod-shaped ZnO nanorods for gas-sensor applications," *Springer-Verlag*, pp. 1451-1452, 2004.
- [2] G. Korotcenkov, *Handbook of Gas Sensor Materials: Properties, Advantages and Shortcomings for Applications Volume 2: New Trends and Technologies*, Berlin: Springer Science & Business Media, 2013.
- [3] S. Baruah dan J. Duta, *Hydrothermal growth of ZnO nanostructures*, Bristol: IOP Publishing, 2009.
- [4] Brinda B. Lakshmi, Peter K. Dorhout, and Charles R. Martin, "Sol-Gel Template Synthesis of Semiconductor Nanostructures," *American Chemical Society*, vol. 9, pp. 857-862, 1997.
- [5] Chen, Liuyun; Tang, Yanhong; Wang, Ke; Liu, Chengbin; Li, Sheng;, "Direct electrodeposition of reduced graphene oxide on glassy carbon electrode and its electrochemical application," *Electrochemistry Communications*, vol. 13, no. 2, pp. 133-137, 2011.
- [6] Chen, B. J.; Sun, X. W.; Xu, C. X.; Tay, B. K.;; "Growth and characterization of zinc oxide nano/micro-fibers by thermal chemical reactions and vapor transport deposition in air," *Science Direct*, vol. 21, no. 1, pp. 103-107, 2004.
- [7] Tong, Yanhong; Liu, Yichun; Dong, Lin; Zhao, Dongxu; Zhang, Jiying; Lu, Youming;, "Growth of ZnO Nanostructures with Different Morphologies by Using Hydrothermal Technique," *Journal of Physics and Chemistry*, vol. 110, pp. 20263-20267, 2006.
- [8] B. Liu dan H. C. Zheng, "Hydrothermal Synthesis of ZnO Nanorods in the Diameter Regime of 50 nm," *JACS Communications*, vol. 125, pp. 4430-4431, 2013.
- [9] Sina Bazazi; , Nasser Aرسالani; , Alireza Khataee; Tabrizi, Amin Goljani;, "Comparison of ball milling-hydrothermal and hydrothermal methods for synthesis of ZnO nanosturctures and evaluation of their photocatalytic performance," *Science Direct*, pp. 1-8, 2018.



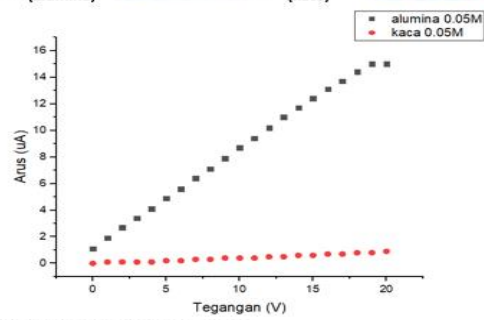
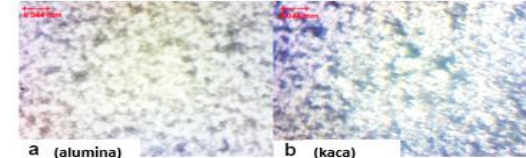
Lampiran

Lampiran Perbandingan Morfologi Nanostruktur ZnO dengan Kurva Konduktivitas Listrik

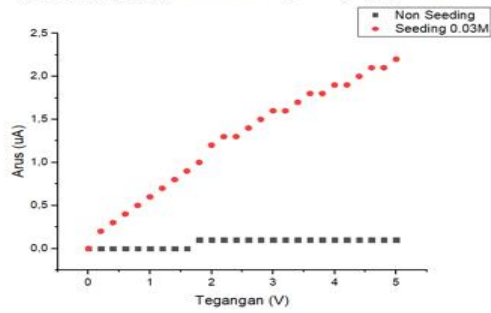
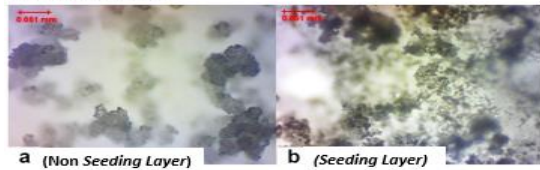
Variasi Pelarut



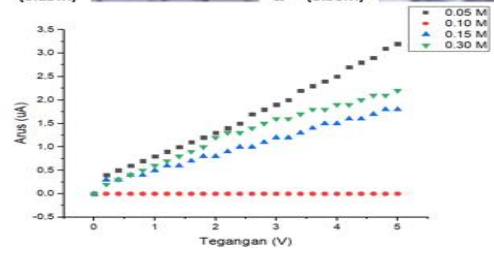
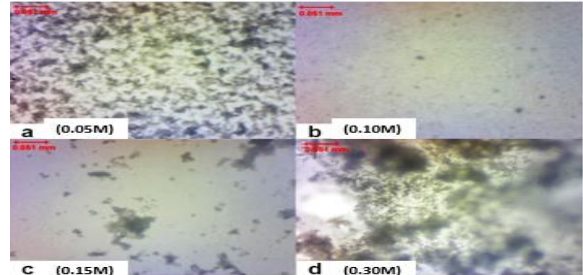
Variasi Substrat



Variasi Seeding Layer



Variasi Molaritas Seeding Layer



Variasi Waktu Penumbuhan

