

## PENGARUH PENAMBAHAN NiO TERHADAP KARAKTERISTIK KERAMIK FILM TEBAL Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> UNTUK SENSOR GAS ASETON

E. Suhendi<sup>1,\*</sup>, L. Hasanah<sup>1</sup>, D.S. Gustaman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Pendidikan Fisika,  
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

<sup>2</sup> PTNBR-BATAN, Jl. Tamansari 71, Bandung, Indonesia

Diterima: 5 April 2012. Disetujui: 5 Mei 2012. Dipublikasikan: Juli 2012

### ABSTRAK

Pembuatan keramik film tebal Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-NiO telah dilakukan dengan menggunakan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lokal sebagai bahan dasar untuk sensor gas aseton. Serbuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dicampur dengan serbuk NiO dengan konsentrasi 0, 10 dan 50% mol secara homogen. Serbuk campuran kemudian dicampur dengan *organic vehicle* (OV) terbuat dari campuran terpineol dan etil selulose dengan komposisi 75% berat serbuk campuran dan 25% berat OV dan diaduk membentuk pasta. Pasta dilapiskan di atas substrat alumina dengan metode *screen printing* lalu dibakar pada suhu 900°C selama 90 menit hingga membentuk keramik film tebal. Film tebal dianalisis dengan difraksi sinar-x (XRD) dan mikroskop elektron (SEM). Resistansi listrik keramik film tebal diukur pada berbagai suhu di ruangan berisi udara dan berisi gas aseton. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hematit dan NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> kubik spinel sebagai fase kedua untuk penambahan konsentrasi NiO 10% dan 50%. Penambahan NiO diketahui memperkecil ukuran butir film tebal Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan meningkatkan resistansi listriknya. Keramik film tebal yang dibuat sensitif terhadap gas aseton.

### ABSTRACT

Fabrication of thick film Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-NiO ceramics for acetone gas sensor has been carried out using local Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as raw material. The Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder was mixed with NiO powder homogeneously with NiO concentration of 0, 10 and 50 mole %. The mixed powder was then mixed with organic vehicle (OV) made of alpha terpineol and ethyl cellulose with composition of 75 weight % mixed powder and 25 weight % OV forming a paste. The paste was coated on alumina substrates by screen printing method, then fired at 900°C for 90 minutes to produce thick film ceramics. The thick film was analyzed using x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). Resistance of the thick films was measured at different temperatures in chamber containing air and containing acetone gas. XRD characterization showed that the crystal structures are hematite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> cubic spinel as second phase for the addition of 10% and 50% NiO concentration. It was known that the addition of NiO decreases grain size of the thick film of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and increases its electrical resistance. The produced thick films were sensitive to acetone gas.

© 2012 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

**Keywords:** Acetone, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, gas sensor; NiO; thick film

### PENDAHULUAN

Kebutuhan akan kehidupan yang nyaman membuat manusia berusaha untuk memenuhinya dengan berbagai cara. Lingkungan yang nyaman, makanan yang segar dan kese-

hatan yang baik adalah sebagian dari kebutuhan manusia. Lingkungan yang tercemar dapat mengganggu kesehatan dan membuat manusia tidak nyaman. Salah satu gas yang dapat mencemari lingkungan adalah gas aseton. Selain berpotensi mencemari lingkungan, gas aseton juga dapat menjadi indikator apakah seseorang menderita diabetes atau tidak. Seorang penderita diabetes akan memproduksi gas aseton di dalam pernafasannya (Righetto-

\*Alamat Korespondensi:  
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung  
E-mail: endis@upi.edu

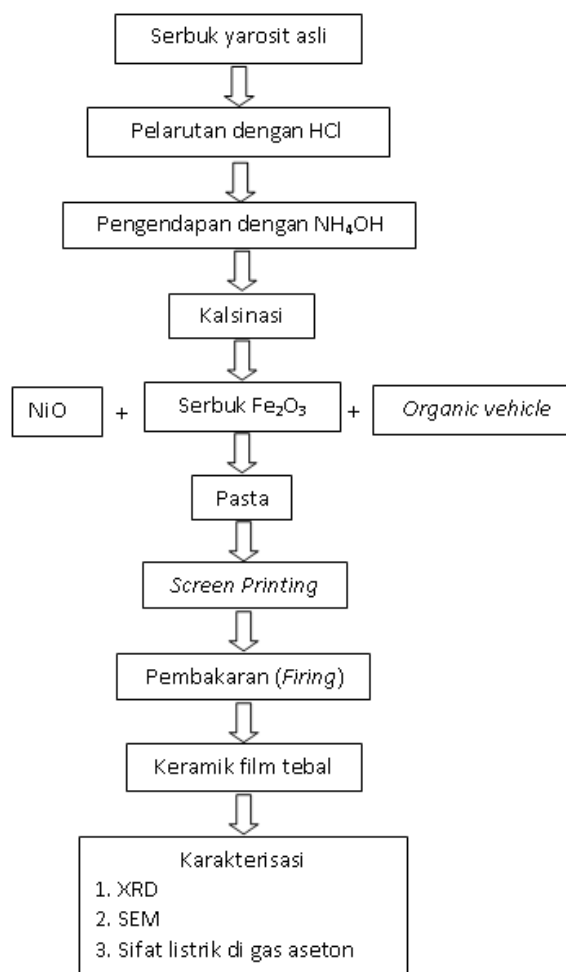
ni dkk., 2010). Berdasarkan uraian di atas, kita memerlukan suatu alat berupa sensor yang dapat mendeteksi adanya gas aseton.

Pada saat ini, sensor gas pada umumnya masih harus diimpor. Agar dapat berswastambada dalam produksi sensor gas aseton perlu dilakukan usaha pembuatan sensor gas aseton secara mandiri dari bahan lokal. Sensor gas dapat dibuat dari keramik khususnya keramik dalam bentuk film tebal. Berbagai keramik seperti  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan Ferit dapat dibuat menjadi sensor gas (Srivastava dkk., 2011; Skubal dkk., 2002; Rezlescu dkk., 2009; Hankarea dkk., 2009; Iftimie dkk., 2006; Wang dkk., 2010). Mekanisme pendeteksian gas oleh keramik adalah melalui proses absorpsi gas tersebut oleh permukaan keramik. Proses absorpsi ini mengakibatkan resistansi keramik berubah. Perubahan resistansi keramik inilah yang digunakan sebagai pendeteksi adanya gas.

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan keramik kombinasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO yang dapat diperoleh dari mineral yang melimpah di Indonesia. Keramik kombinasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO akan memiliki fase yang jenisnya tergantung pada konsentrasi NiO sebagai aditif. Fase-fase yang terjadi pada keramik kombinasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO hasil pembakaran dapat berbeda-beda sesuai konsentrasi NiO yang ditambahkan. Tiga fase yang mungkin terbentuk adalah, pertama,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai matriks dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  sebagai fase kedua, kedua, NiO sebagai matriks dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  sebagai fase kedua dan, ketiga,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  sebagai matriks utama tanpa fase kedua atau dengan sedikit fase kedua  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  atau NiO. Karakteristik keramik yang terbentuk dan respon keramik tersebut terhadap gas aseton dipelajari pada penelitian ini.

## METODE

Serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hasil pengolahan dari mineral dengan pelarutan dan pengendapan digunakan sebagai bahan dasar. Serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dicampur dengan serbuk NiO dengan variasi konsentrasi NiO 0,10 dan 50% mol secara homogen. Serbuk campuran kemudian dicampur dengan *organic vehicle* (OV) berupa campuran terpineol dan etil selulose dengan komposisi 75% berat serbuk campuran dan 25% berat OV dan diaduk membentuk pasta. Pasta dilapiskan di atas substrat alumina dengan metode *screen printing* lalu dibakar pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 90 menit hingga membentuk keramik film tebal.

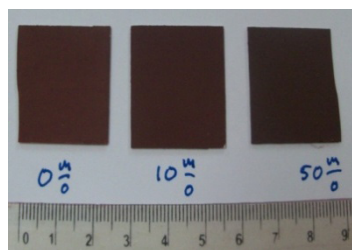


Gambar 1. Skema penelitian

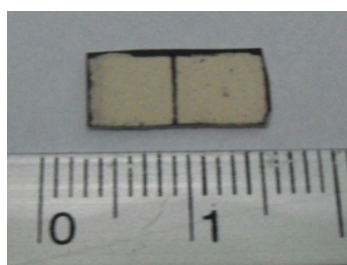
Analisis difraksi sinar-x (XRD) dan SEM terhadap keramik film tebal kemudian dilakukan untuk melihat struktur kristal dan fase-fase yang terjadi serta struktur mikronya. Tahanan listrik dari film tebal diukur pada berbagai suhu di lingkungan udara dan lingkungan berupa gas aseton dengan konsentrasi yang berbeda. Secara keseluruhan, skema penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Foto keramik film tebal yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 2. Setelah dipotong-potong dan diberi elektrode perak keramik film tebal membentuk sensor seperti terlihat pada Gambar 3.



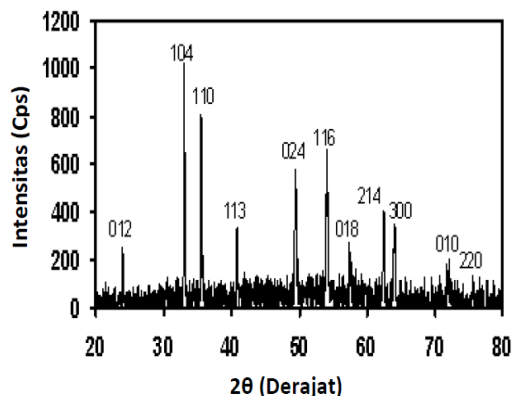
**Gambar 2.** Keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -NiO dengan variasi konsentrasi



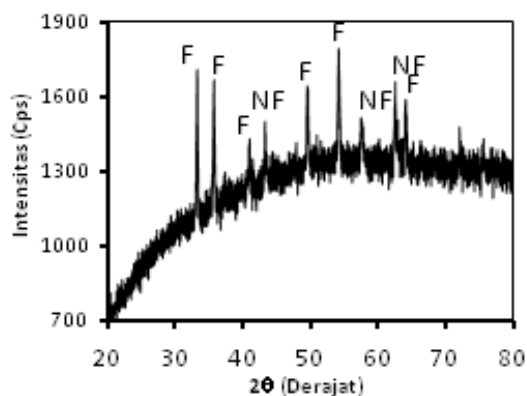
**Gambar 3.** Keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -NiO yang telah diberi elektroda perak

Hasil karakterisasi XRD dari keramik film tebal yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 4-6. Puncak-puncak difraksi menunjukkan satu bidang kristal (tiga dimensi) tertentu pada suatu material. Puncak dengan intensitas yang kuat menunjukkan bahwa material tersebut memiliki suatu bidang kristal yang relatif lebih banyak.

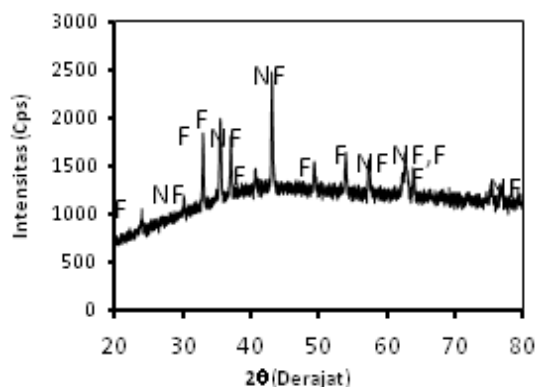
Gambar 4 menunjukkan hasil karakterisasi XRD dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Pada setiap puncak intensitas berkaitan dengan satu bidang kristal tertentu pada material  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Struktur kristal dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah hematit. Gambar 5 menunjukkan bahwa keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang ditambah 10% NiO mempunyai pola struktur kristal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit dan fase kedua  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kubik spinel. Struktur kristal keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang ditambah 50% NiO ditunjukkan pada Gambar 6. Struktur kristal yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kubik spinel dengan jumlah fase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  berimbang. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu  $900^\circ\text{C}$  tidak cukup sempurna untuk membentuk keramik  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  meskipun konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO sudah sesuai secara stoikiometri. Reaksi pembentukan keramik  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  mengikuti reaksi persamaan (1).



**Gambar 4.** Pola XRD keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -0% NiO. Struktur kristal yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit



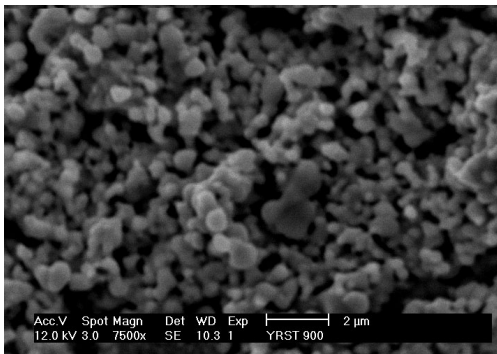
**Gambar 5.** Pola XRD keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10% NiO. Struktur kristal yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit (F) dan fase kedua  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kubik spinel (N)



**Gambar 6.** Pola XRD keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -50% NiO. Struktur kristal yang terbentuk adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hematit (F) dan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kubik spinel (N)

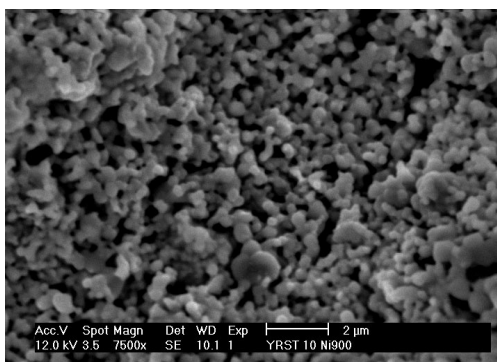
Morfologi permukaan keramik film tebal yang dipotret dengan SEM diperlihatkan pada Gambar 7-9. Gambar 7 menunjukkan mor-

fologi film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 0% NiO yang dibakar pada suhu  $900^\circ\text{C}$ . Butiran yang terbentuk cukup merata. Morfologi permukaan keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10% NiO yang dibakar pada suhu  $900^\circ\text{C}$  diperlihatkan pada Gambar 8. Butiran yang terbentuk juga cukup merata. Gambar 9 memperlihatkan morfologi keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -50% NiO yang dibakar pada suhu  $900^\circ\text{C}$ . Ukuran butir keramik film tebal tampak mengecil dengan pertambahan konsentrasi NiO. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan NiO cenderung menghambat pertumbuhan butir  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

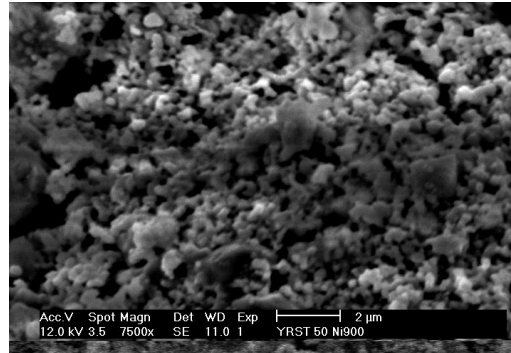


**Gambar 7.** Morfologi keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -0% NiO

Secara keseluruhan ukuran butir kurang dari 1000 nm. Porositas keramik juga relatif besar. Paduan dari ukuran butir yang kecil dan porositas yang besar diperlukan oleh sebuah sensor gas.



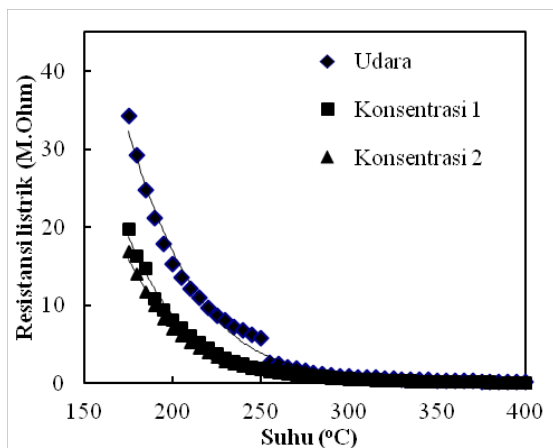
**Gambar 8.** Morfologi keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -10% NiO



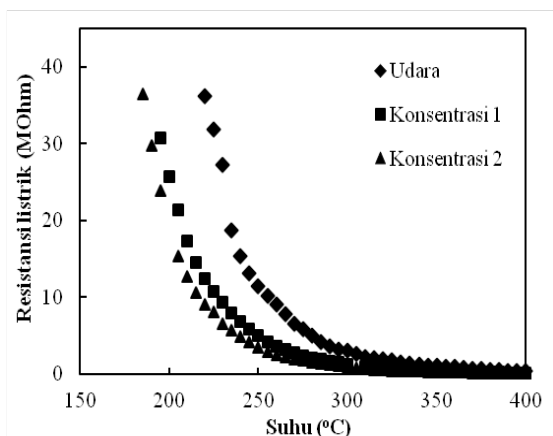
**Gambar 9.** Morfologi keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -50% NiO

Resistansi listrik keramik film tebal sebagai fungsi konsentrasi NiO untuk dua lingkungan yang berbeda yaitu lingkungan berupa udara dan lingkungan gas aseton diperlihatkan pada Gambar 10-12. Konsentrasi gas aseton dibuat berbeda dimana konsentrasi 1 bernilai 510 ppm dan konsentrasi 2 bernilai 1950 ppm. Gambar 10 memperlihatkan resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai fungsi suhu. Resistansi listrik menurun dengan naiknya suhu. Resistansi listrik di udara lebih besar dari pada resistansi listrik di dalam gas aseton. Resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10%NiO sebagai fungsi suhu ditunjukkan pada Gambar 11. Karakteristik resistansinya mirip dengan karakteristik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Gambar 12 menunjukkan resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -50%NiO sebagai fungsi suhu. Suhu operasi sensor keramik ini terlihat lebih tinggi dari suhu operasi keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  maupun suhu operasi keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10%NiO.

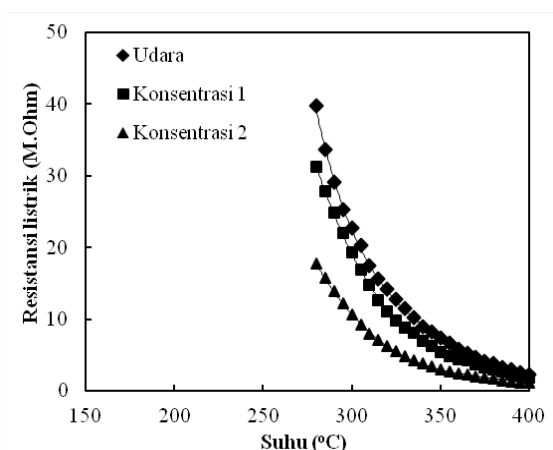
Karakteristik semikonduktor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  diperlihatkan oleh semua keramik film tebal yang telah dibuat. Resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan penambahan konsentrasi NiO 0, 10 dan 50% mol menunjukkan penurunan dengan naiknya suhu. Hal ini menunjukkan bahwa keramik film tebal yang dibuat responsif terhadap gas aseton. Hasil yang diperoleh juga sejalan dengan hasil yang diperoleh Patil (2009) yang melaporkan bahwa resistansi listrik keramik semikonduktor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menurun dengan naiknya suhu.



**Gambar 10.** Resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai fungsi suhu



**Gambar 11.** Resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -10%NiO sebagai fungsi suhu



**Gambar 12.** Resistansi listrik keramik film tebal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -50%NiO sebagai fungsi suhu

Resistansi listrik juga dipengaruhi oleh konsentrasi gas aseton. Semakin besar konsentrasi aseton, semakin kecil harga tahanan

listrik keramik. Turunnya resistansi listrik keramik melalui mekanisme berikut. Pada tahap awal permukaan keramik mengadsorpsi oksigen dan memberikan elektron yang berada di pita konduksi kepada oksigen tersebut, menyebabkan kenaikan potensial penghalang. Pada saat gas aseton teradsorpsi di permukaan keramik, oksigen yang teradsorpsi bereaksi dengan gas aseton dan memberikan elektronnya ke pita konduksi. Potensial penghalang menjadi turun. Pada saat inilah konduktansi naik atau resistansi turun. Data ini mengindikasikan bahwa keramik yang dibuat sensitif terhadap gas aseton dan berpotensi untuk diaplikasikan sebagai sensor gas aseton. Pengaruh konsentrasi aseton terhadap sensitivitas sensor juga telah diungkapkan oleh Rezlescu, dkk (2008). Mereka melaporkan bahwa semakin besar konsentrasi aseton maka resistansi keramik semakin kecil sehingga sensitivitasnya semakin besar.

Penambahan NiO cenderung meningkatkan harga resistansi listrik sebagai akibat mengecilnya ukuran butir diakibatkan oleh keberadaan NiO. Ukuran butir yang kecil mengakibatkan porositas yang besar sehingga luas efektif keramik untuk bereaksi dengan gas lebih besar. Dengan kondisi ini, semakin banyak elektron yang menuju pita konduksi keramik sehingga resistansinya menurun.

## PENUTUP

Serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  telah dapat diperoleh dari mineral yarosit dengan metode presipitasi. Serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang ditambah NiO dengan komposisi berbeda menghasilkan keramik film tebal dengan fase hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan fase kedua  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  kubik spinel ketika disinter pada suhu  $900^\circ\text{C}$  untuk konsentrasi NiO 10% mol dan 50% mol. Penambahan NiO memperkecil ukuran butir, memperbesar resistansi listrik dan meningkatkan suhu operasi. Keramik film tebal yang dibuat sensitif terhadap gas aseton sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai sensor gas aseton.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hankarea, P. P., Jadhava, S. D., Sankpala, U. B., Patil, R. P., Sasikala, R., & Mullac, I. S. 2009. *Gas sensing properties of magnesium ferrite prepared by co-precipitation method*. Journal of Alloys and Compounds 488: 270-272
- Iftimie, N., Rezlescu, E., Popa, P. D., & Rezlescu, N. 2006. *The magnetic oxide semiconducting ceramics as gas sensor*. Journal of Optoelec-

- tronics and advanced materials, Vol. 8, No. 3: 1001–1003
- Patil, L. A. 2009. *Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZnO Based Gas Sensors*. Sensors & Transducers Journal, Vol. 104: 68-75
- Rezlescu, N., Doroftei, C., Rezlescu, E., & Craus, M. L. 2008.  *$\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> ultra-fine particle films as reducing gas sensor*. Romanian Reports in Physics, Vol. 60, No. 4: 1041–1052
- Rezlescu, N., Rezlescu, E., Tudorache, F., & Popa, P. D. 2009. *Gas sensing properties of porous Cu-, Cd- and Zn-ferrites*. Romanian Reports in Physics, Vol. 61, No. 2: 223–234
- Righettoni, M., Tricoli, A., & Pratsinis, S. E. 2010. *Si:WO<sub>3</sub> Sensors for highly selective detection of acetone for easy diagnosis of diabetes by breath analyses*, Analytical Chemistry 82: 3581-3587
- Skubal, L. R., Meshkov, N. K., & Vogt, M.C. 2002. *Detection and identification of gaseous organics using a TiO<sub>2</sub> sensor*. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 148: 103–108
- Srivastava, J. K., Pandey, P., Mishra, V. N., & Dwivedi, R. 2011. *Structural and micro structural studies of PbO-doped SnO<sub>2</sub> sensor for detection of methanol, propanol and acetone*. Journal of Natural Gas Chemistry 20:179–183
- Wang, S., Wang, L., Yang, T., Liu, X., Zhang, J., Zhu, B., Zhang, S., Huang, W., & Wu, S. 2010. *Porous  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hollow microspheres and their application for acetone sensor*. Journal of Solid State Chemistry 183: 2869–2876.