

Studi Awal Pembuatan Keramik Film Tebal (*Thick Film*) Berbasis Fe₂O₃ dari Bahan Dasar Lokal untuk Sensor Gas Alkohol

Endi Suhendi¹, Hera Novia¹, Dani Gustaman Syarif², Djoko H. Prajitno²

¹⁾ Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI, Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung
e-mail: endis@upi.edu

²⁾ Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri BATAN, Bandung

Abstrak

Telah dilakukan studi awal tentang pembuatan keramik film tebal (*thick film*) berbasis Fe₂O₃ dari bahan dasar lokal untuk sensor gas alkohol. Mineral yarosit dipilih sebagai bahan dasar karena pada mineral tersebut banyak mengandung hematit (α -Fe₂O₃) dan merupakan bahan yang melimpah di Indonesia. Secara teoritis, keramik berbasis Fe₂O₃ dapat mendeteksi gas alkohol melalui proses reaksi kimia yang terjadi pada keramik ketika berinteraksi dengan gas alkohol. Reaksi yang terjadi bergantung pada struktur mikro keramik dimana hasil struktur mikro ini bergantung pada beberapa parameter proses pembuatan seperti suhu dan waktu pembakaran, komposisi kimia pasta dan ketebalan lapisan film. Sensitifitas sensor gas juga dapat diubah dengan sensitisasi yaitu dengan memberi lapisan oksida lain atau logam mulia di permukaan butir. Lapisan sensitisator dapat mempengaruhi sensitivitas atau respon keramik sensor gas. Ketebalan optimal dari lapisan sensitisator perlu dicari untuk mendapatkan keramik sensor dengan unjuk kerja yang paling baik.

Kata kunci: Fe₂O₃, Bahan Lokal, Sensor Gas

PENDAHULUAN

Kemajuan bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat membuat setiap negara berlomba untuk menghasilkan produk-produk tertentu yang sangat bermanfaat sehingga dapat digunakan oleh konsumen di dalam negeri (swasembada) atau bahkan oleh negara lain. Tentu saja, bukan hanya keuntungan secara ekonomis yang dapat diperoleh tetapi juga merupakan suatu kebanggaan tersendiri apabila produk yang kita hasilkan dapat digunakan oleh negara lain. Salah satu produk yang banyak digunakan adalah komponen elektronika. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya alam yang berlimpah, termasuk diantaranya adalah sumber daya alam berupa mineral. Salah satu usaha untuk mewujudkan harapan tersebut di atas adalah perlunya swasembada dalam membuat produk tertentu dari bahan dasar lokal yang melimpah di dalam negeri sekaligus memberi nilai tambah kepada bahan yang melimpah tersebut seperti mineral. Salah satu produk yang perlu dibuat secara swasembada dengan memanfaatkan bahan dasar lokal yang melimpah adalah sensor gas alkohol yang pasarnya cukup luas karena bidang aplikasinya juga luas mencakup rumah tangga, industri, kedokteran dan kepolisian. Sensor gas khususnya alkohol sangat bermanfaat sebagai contoh untuk mendeteksi atau mengetahui kandungan gas alkohol di dalam ruangan, makanan dan tubuh manusia melalui tes alkohol di bagian mulut (untuk para pengemudi).

Dalam rangka memberi nilai tambah kepada bahan lokal yang melimpah di Indonesia seperti mineral, maka perlu dilakukan berbagai usaha untuk mengubah bahan lokal tersebut menjadi produk tertentu yang bernilai lebih tinggi. Salah satu usaha untuk itu adalah dengan mengkonversi mineral menjadi komponen elektronik khususnya sensor gas alkohol. Sensor gas

alkohol secara teoritis dapat dibuat dari berbagai keramik seperti ZnO [10,3], SnO₂ [1,8] dan keramik spinel [4,6], namun yang paling menguntungkan dari segi pemanfaatan bahan lokal yang melimpah adalah keramik berbasis Fe₂O₃ yang berasal dari mineral yarosit. Keramik Fe₂O₃ adalah salah satu keramik bersifat semikonduktor [9,7]. Jika keramik ini berinteraksi dengan lingkungan, maka sifat listrik keramik ini dapat berubah. Perubahan yang terjadi dapat dimanfaatkan untuk mengkreasi sensor gas. Sensor gas secara keseluruhan berarti sebuah divais yang terdiri atas sensor/transduser sebagai inti dan bagian lain meliputi elektrode, heater dan *casing* sebagai bagian tambahan. Pada studi awal penelitian ini, yang menjadi pokok adalah bagian utama dari divais sensor gas yaitu keramik film tebal sebagai transduser atau bagian yang paling peka. Keramik yang menjadi objek penelitian adalah keramik berbasis Fe₂O₃.

Studi awal penelitian ini merupakan upaya untuk dapat melakukan pembuatan sensor gas alkohol dari bahan lokal yang melimpah di Indonesia khususnya mineral. Mineral yang menjadi perhatian di sini adalah yarosit. Mineral ini banyak terdapat di Indonesia [2,5] selain mineral lain seperti magnetit, ilmenit, pasir besi dan hematit.

Tujuan dari studi awal penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi dan memperoleh kemampuan dalam pembuatan keramik film tebal berbasis Fe₂O₃ yang memiliki kemampuan mendeteksi gas alkohol (berfungsi sebagai sensor gas alkohol) dari bahan dasar mineral yarosit sebagai wakil dari bahan dasar yang melimpah di Indonesia. Sedangkan manfaat dari studi awal penelitian ini secara umum adalah memberi nilai tambah kepada bahan yang melimpah di negara kita seperti mineral. Selain itu, penelitian ini juga dapat menumbuhkembangkan penguasaan dan kemampuan dalam pembuatan sensor gas alkohol dari bahan dasar mineral yang melimpah. Lebih spesifik lagi dapat membuat sensor gas dari bahan dasar yang melimpah di Indonesia yang memungkinkan penghematan devisa dan substitusi impor komponen. Terutama jika film tebal yang dihasilkan dapat diproduksi menjadi divais sensor yang baik. Dampak lainnya adalah semakin tingginya sumber daya manusia Indonesia khususnya yang berkecimpung di dunia penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dan studi literatur. Metode eksperimen dilakukan untuk mengetahui kandungan bahan lokal berupa mineral yarosit melalui proses pemurnian yaitu dengan proses pelarutan-pengendapan. Mineral yarosit dipilih sebagai bahan dasar karena pada mineral tersebut banyak mengandung hematit (α - Fe₂O₃) dan material lainnya. Untuk memperoleh keramik film tebal yang dibuat dari Fe₂O₃ yang diperoleh dari bahan mineral yarosit, perlu dilakukan proses pemurnian yaitu dengan proses pelarutan-pengendapan. Hal ini dilakukan karena serbuk yarosit awal masih terlalu banyak pengotornya. Hasil survei lapangan, mineral serbuk yarosit dapat diperoleh dari P.D. Kerta Pertambangan [2]. Untuk proses pemurnian, serbuk yarosit dipanaskan pada suhu 1000°C selama 4 jam, lalu dilarutkan di dalam HCl dan disaring. Ke dalam larutan yang telah disaring ditambahkan NH₄OH untuk mendapatkan endapan Fe(OH)₃. Endapan yang diperoleh dibersihkan, lalu dipanaskan pada suhu 80°C hingga kering. Serbuk yang telah kering kemudian dikalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam untuk mendapatkan serbuk Fe₂O₃. Serbuk Fe₂O₃ yang diperoleh dianalisis kimia untuk memperoleh komposisi kimianya. Selanjutnya dipelajari secara teoritis tentang kemungkinan keramik film tebal berbasis Fe₂O₃ dari hasil pelarutan dan pengendapan dimanfaatkan sebagai sensor gas.

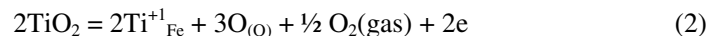
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis kimia dari serbuk yarosit hasil pemurnian dengan pelarutan pengendapan diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi serbuk yarosit hasil pemurnian dengan pelarutan pengendapan

| No. | Zat | % Berat |
|-----|--------------------------------|---------|
| 1. | Fe ₂ O ₃ | 91,30 |
| 2. | Al ₂ O ₃ | 3,30 |
| 3. | SiO ₂ | 2,05 |
| 4. | TiO ₂ | 3,02 |
| 5. | CaO | 0,16 |
| 6. | MnO | 0,17 |

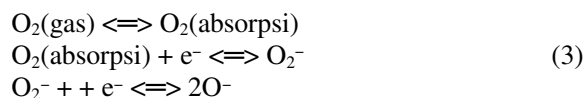
Hasil di atas menunjukkan bahwa serbuk yarosit hasil pemurnian dengan pelarutan dan pengendapan banyak mengandung material lain selain Fe₂O₃. Material lain seperti TiO₂ dan SiO₂ inilah membuat keramik bisa menjadi sensor yang aplikabel. Berdasarkan hasil studi literatur, mekanismenya adalah sebagai berikut. Keramik film tebal yang dibuat dari Fe₂O₃ yang diperoleh dari bahan mineral seperti yarosit atau magnetit akan berkecenderungan mengandung impuritas seperti TiO₂ dan SiO₂. Jika ion Ti valensi 4 larut padat di dalam keramik Fe₂O₃, maka secara teoritis akan menghasilkan ion-ion Fe bervalensi 2 dan cacat kekosongan oksigen (*oxygen vacancy*) sebagai konsekuensi dari prinsip netralitas muatan. Akibatnya akan terjadi penambahan elektron di pita konduksi. Reaksi pembentukan elektron akibat masuknya ion Ti valensi empat ke dalam kisi kristal Fe₂O₃ adalah sebagai berikut :



dengan, $\text{Ti}_{\text{Fe}}^{+1}$ adalah ion Ti^{4+} yang masuk ke subkisi Fe di dalam kisi Fe₂O₃, $\text{O}_{(\text{O})}$ adalah ion oksigen yang masuk ke subkisi oksigen di dalam kisi Fe₂O₃, O_2 adalah gas oksigen yang dilepaskan dan e adalah elektron. Keramik film tebal dari Fe₂O₃ yang murni secara teoritis akan memiliki resistansi listrik yang sangat besar. Kemungkinan membuat keramik menjadi tidak aplikabel. Dengan adanya ion Ti valensi 4, resistansi akan turun dan menjadikan keramik menjadi aplikabel.

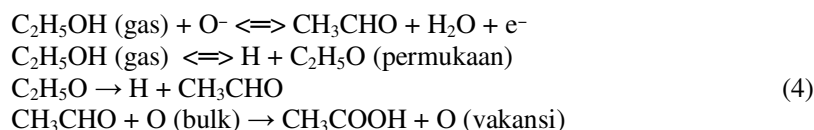
Di sisi lain, SiO₂ kemungkinan tidak larut padat di dalam keramik Fe₂O₃ tetapi cenderung terpisah dan berada di batas butir. Dua keadaan ini dapat memberi pengaruh kepada unjuk kerja keramik Fe₂O₃ sebagai sensor gas alkohol. Jika keberadaan SiO₂ di batas butir menjadi penghalang pertumbuhan butir, maka butir yang dihasilkan di dalam keramik sensor akan kecil. Secara teoritis ini akan membuat sensor lebih sensitif karena mempunyai luas permukaan yang besar.

Selanjutnya, mekanisme pendeteksian gas alkohol oleh keramik berbasis Fe₂O₃ ini adalah sebagai berikut: Pertama, keramik dipanaskan sehingga keramik dapat berinteraksi dengan oksigen dengan mentransfer elektron dari pita konduksi yang kemudian diabsorpsi oksigen. Hasil absorpsi oleh oksigen menghasilkkan ion tertentu seperti O_2^- , O_2^- , dan O^- pada temperatur yang berbeda. Kinematika reaksinya dapat dijelaskan pada reaksi di bawah ini.



Elektron ditransfer dari pita konduksi keramik film pada oksigen sehingga menghasilkan penurunan konsentrasi elektron pada keramik film. Sebagai konsekuensinya, resistansi keramik film akan meningkat. Pada gas alkohol, molekul-molekul hidrogen terikat pada karbon, sehingga uap alkohol lebih reaktif untuk mereduksi komponen-komponen pada permukaan keramik film. Uap alkohol bereaksi dengan oksigen hasil reaksi di atas, hasil reaksi ini melepaskan elektron yang

kemudian elektron ini kembali ke pita konduksi keramik film sehingga mengakibatkan penurunan resistansi keramik film. Reaksi uap alkohol dengan oksigen hasil reaksi di atas, dapat dituliskan dalam dua cara berbeda seperti di bawah ini.



Reaksi yang terjadi akan semakin baik jika ukuran butir semakin kecil karena luas permukaan keramik akan semakin besar. Hal ini dapat diwujudkan dengan membuat keramik dari serbuk yang sangat halus (nano meter) dengan proses pembuatan yang sedemikian rupa sehingga menghasilkan keramik yang porous (mengandung banyak pori) tetapi tidak menghasilkan butir yang besar. Secara teoritis berbagai parameter proses dapat mempengaruhi struktur mikro keramik di antaranya suhu dan waktu pembakaran, komposisi kimia pasta dan ketebalan lapisan film tebal. Struktur mikro yang dibutuhkan oleh keramik sensor gas yang disebutkan di atas dapat diatur dengan parameter-parameter ini.

Sensitivitas sensor gas juga dapat diubah dengan sensitisasi yaitu dengan memberi lapisan oksida lain atau logam mulia di permukaan butir. Lapisan sensitisator dapat mempengaruhi sensitivitas atau respon keramik sensor gas. Ketebalan optimal dari lapisan sensitisator perlu dicari untuk mendapatkan keramik sensor dengan unjuk kerja yang paling baik. Untuk melapisi keramik film tebal dengan sensitisator, keramik dicelupkan (dipping) di dalam larutan mengandung ion Cu atau Pd lalu diangkat dan dipanaskan pada suhu tertentu untuk membentuk lapisan CuO atau logam Pd.

KESIMPULAN

Pembuatan keramik film tebal berbasis Fe_2O_3 yang memiliki kemampuan mendeteksi gas alkohol (berfungsi sebagai sensor gas alkohol) dari bahan dasar mineral yarosit sebagai wakil dari bahan dasar yang melimpah di Indonesia secara teoritis dapat dilakukan. Untuk memperoleh keramik film tebal berbasis Fe_2O_3 dengan kualitas baik, secara eksperimental dilakukan dengan memvariasikan suhu pembakaran dan *organic vehicle* yang berpengaruh terhadap karakteristik keramik tersebut dan kemudian dilakukan optimasi melalui variasi konsentrasi lapisan sensitisator.

DAFTAR PUSTAKA

1. Amnat Reungchaiwat, Teerapol Wongchanapiboon, Saisunee Liawruangrath and Sukon Phanichpant, Home-made detection device for a mixture of ethanol and acetone, *Sensors*, 7 (2007) 202-213.
2. Anonim, Leaflet P.D. Kerta Pertambangan Jawa Barat, 2006.
3. Babita Baruwati, D. Kishore Kumar, Sunkara V. Manorama, Hydrothermal synthesis of highly crystalline ZnO nanoparticles: A competitive sensor for LPG and Ethanol, *Sensors and Actuators B* 119 (2006) 676-682.
4. C. Dorofte, E.Rezlescu, N.Rezlescu, P.D. Popa, Magnesium ferrite with Sn^{4+} and/or Mo^{6+} substitutions as sensing element for Acetone and Ethanol, *Rom. Journ.Phys.*, Vol.51, No. 5-6, 631-640, 2006.
5. Dani Gustaman Syarif, Guntur D.S., M. Yamin, Studi awal pembuatan keramik termistor berbahan dasar mineral yarosit dan evaluasi karakteristiknya, *Prosiding Seminar P3TKN-BATAN*, 2005.

6. Guoying Zhang, Chunsheng Li, Fangyi Cheng, Jun Chen, ZnFe₂O₄ tubes: Syntesis and application to gas sensors with high sensitivity and low-energy consumption, *Sensors and Actuators B* 120 (2007) 403-410.
7. Michel Barsoum, *Fundamentals of ceramics*, McGraw-Hill, 1997.
8. Sanju Rani, Somnath C. Roy, M.C. Bhatnagar, Effect of Fe doping on the gas sensing properties of nano-crystalline SnO₂ thin films, *Sensors and Actuators B* 122(2007)204-210.
9. W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann, *Introduction to ceramics*, John Wiley&Sons, NY, 1976.
10. X.L. Cheng, H.Zhao, L.H. Huo, S.Gao, J.G. Zhao, ZnO nanoparticle thin film:preparation, characterization and gas-sensing property, *Sensors and Actuators, B* 102 (2004)248-252.

