

FABRIKASI MATERIAL NANO STRUKTUR SnO₂ SEBAGAI SENSING ELEMEN PADA SENSOR GAS CO UNTUK MEMANTAU GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR

Aminuddin Debatara¹

¹ Staf Pengajar - Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Jakarta - UI

Keywords :

Mikrosensor
 Gas carbon monoxide
 MEMS
 Nanotechnology

Abstract :

The need for chemical sensor technology in applications for environmental monitoring has increased in recent years. In practice, the sensing elements must be relatively small in size, robust, and should not require a large sensing sample volume. The microelectromechanical systems or MEMS technology use in the fabrication of chemical sensing Microsystems, Tin oxide (SnO₂) sensors are generally operated in air at the temperature range between 200 and 400°C. The chemisorption of atmospheric gases takes place at the surface of the SnO₂. Particular focus was devoted to achieve nanosized films through proper processing and to study their morphological and structural features. Nanosized powders were prepared by method spray pyrolysis. We also considered some techniques to maintain the stability of a nanostructure for long-term usage of the sensing layers. This paper describes the detail design, fabrication process of gas sensor devices based on tin dioxide using thick film technology and its responses to carbon monoxide gas. The sensor device consists of layers of a heater, a pair of electrode and a sensitive layer (tin dioxide). It was observed those thick film gas sensors based on tin dioxide are suitable for detection of carbon monoxide. These sensor devices are expected to detect CO in the form of single or mixture of gases.

PENDAHULUAN

Diantara berbagai jenis sensor kimia, sensor gas carbon monoxide (CO) sangat dibutuhkan untuk memantau gas CO yang dihasilkan dari pembuangan kendaraan bermotor dan gas alami akibat pembakaran yang tidak sempurna. Akhir-akhir ini, polusi udara semakin meningkat akibat berlebuhnya kadar gas buangan, seperti karbon monoksida dan

hal ini merupakan persoalan di seluruh dunia. Untuk itu diperlukan suatu alat detektor berupa sensor elektrokimia untuk mengetahui konsentrasi dari gas buangan tersebut. Diantara berbagai jenis sensor kimia, sensor gas carbon monoxide (CO) sangat dibutuhkan untuk memantau gas CO yang dihasilkan dari pembuangan kendaraan bermotor dan gas alami akibat pembakaran yang tidak sempurna.

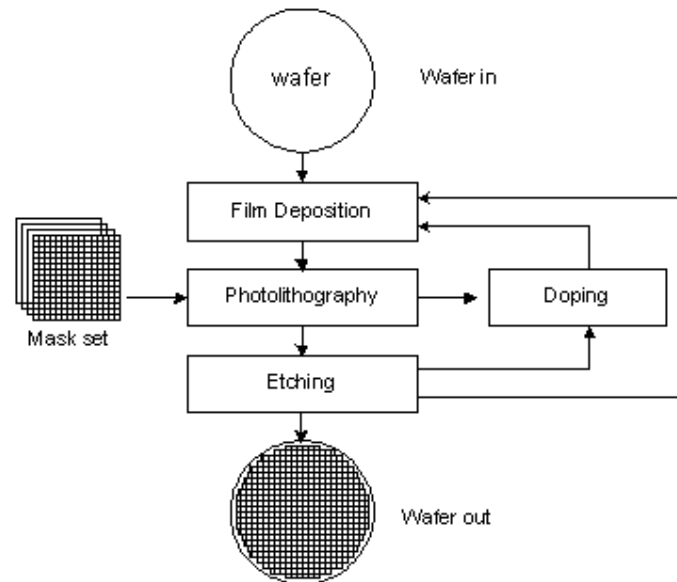
Tabel 1. Emisi gas buang kendaraan dan dampaknya terhadap kesehatan *

| Jenis | Rumus Kimia | Dampak |
|-------------------------------------|-----------------|--|
| Karbon Monoksida | CO | Tubuh kekurangan oksigen dan jantung bekerja lebih berat sehingga dapat menyebabkan pingsan atau kematian |
| Nitrogen Dioksida | NO ₂ | Iritasi mata, memicu serangan asma, menurunkan daya tahan tubuh |
| Sulfur Oksida | SO | Penyakit paru-paru kronis dan akut, gangguan tenggorokan dan hidung, memperparah penderita asma |
| Hidrokarbon | HC | Penyakit paru-paru kronis dan akut, kanker paru-paru, kanker darah |
| Debu atau partikel halus | PM10 | Infeksi saluran pernafasan, penyakit paru-paru kronis dan akut, gangguan mata, gangguan tenggorokan dan hidung, kanker paru-paru |
| Partikulat halus emisi mesin diesel | | Dapat memasuki jaringan paru-paru terjauh sehingga mengganggu fungsi paru-paru |
| Timbal | Pb | Tekanan darah tinggi, kerusakan permanen sistem saraf pusat (menurunkan tingkat kecerdasan dan perkembangan) |
| Ozon | O ₃ | Gangguan saluran pernafasan, penyakit paru-paru kronis dan akut, memicu serangan asma |

* Sumber : Bengkel Mobil Toyota Auto 2000.

Kebutuhan akan sistem sensor kimia dan biologi untuk aplikasi lingkungan, kesehatan dan industri semakin meningkat di seluruh dunia. Pembuatan sistem mikrosensor, terintegrasi dan *portable* sangat dibutuhkan untuk kemudahan pengoperasian di lapangan. Manfaat dari sistem sensor yang miniatur (mikro), terintegrasi dan *portable* adalah peningkatan efisiensi, kecepatan, perbaikan *reliability* dari proses analisa, dan mengurangi konsumsi pemakaian *sample* dan *reagent*. Dengan kemajuan teknologi mikroelektronika dan *microelectromechanical system (MEMS technology)* hal ini bisa dilakukan dengan cara fabrikasi beberapa elektroda pada suatu keping silikon atau *substrate* [1, 2]. Dalam bidang sensor *electrochemical* dan *actuator* pada saat ini miniaturisasi dan integrasi komponen-komponen suatu sistem sensor sedang dikembangkan di laboratorium-laboratorium yang menuju ke suatu sistem baru, dimana semua komponen terintegrasi secara total yang dikenal dengan nama *micro Total Analysis System (μTAS)* [3–9]. Teknologi proses yang banyak digunakan untuk pembuatan mikrosensor atau *microdevices* adalah *silicon-based microfabrication* yang dapat menghasilkan struktur

yang berukuran mikrometer dan memungkinkan untuk membuat mikrosensor dalam bentuk *array* atau multi-sensor pada suatu keping chip. Disamping itu teknologi *thin/thick film* juga banyak digunakan untuk pembuatan *chemical/biological sensor*, karena prosesnya lebih sederhana dan *low cost* sangat cocok untuk pembuatan *disposable sensor* [10–13]. Proses *microfabrication* digunakan untuk memproduksi *devices* dengan dimensi yang berukuran *micrometer* sampai dengan *millimetre* [2]. Proses *microfabrication* dapat diimplementasikan secara efektif untuk menghasilkan satu *device* atau ribuan *devices* yang *uniform*. Proses fabrikasi *Integrated Circuit (IC)* merupakan proses *microfabrication* yang memegang peranan penting dan dapat digunakan atau kompatibel untuk proses *microfabrication sensor electrochemical*. Beberapa tahun silam, teknologi *microfabrication* telah menjadi sebuah teknologi yang menjanjikan untuk miniaturisasi dan integrasi untuk sistem *chemical* atau biosensor. Gambar 6 memperlihatkan *flow diagram* dari proses fabrikasi *Integrated Circuit (IC)*.



Gambar 1. Flow diagram dari proses fabrikasi IC [2]

Komersialisasi untuk teknologi biosensor telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun belakangan ini, terlebih lagi dengan didukung oleh teknologi nano (*nanotechnology*) dan *micromechanical engineered systems (MEMS)* memungkinkan untuk *improvement* dalam hal *stability*, *sensitivity* serta kualitas dari sensor tersebut [1, 4]. Jenis sensor kimiawi dan biosensor yang telah banyak dikembangkan yaitu : *Ion-selective electrodes*, *Gas sensor*, *Glucose sensor* untuk monitoring kadar gula, biosensor untuk penentuan kadar laktat dan masih banyak lagi [5]. Teknologi *Thick Film (TFT)* merupakan salah satu

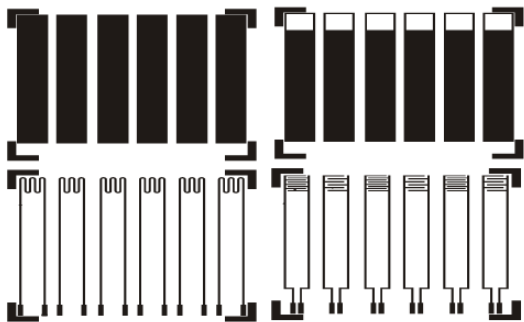
bagian dari teknologi proses mikroelektronika untuk fabrikasi komponen-komponen elektronika secara *screen-printing* [19]. Sejak pertengahan tahun 1960, teknologi proses *thick film* telah digunakan untuk meminiaturisasi suatu rangkaian elektronika ke dalam sebuah keping *substrate*, karena kemampuannya menghasilkan jalur konduktor yang sangat kecil (*fine line*). Teknologi *Thick Film* telah banyak digunakan secara luas dalam industri komponen *hybrid* mikroelektronika dan diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti otomotif, telekomunikasi, medikal dan

pengembangan sensor dan aktuator. Material utama yang digunakan dalam teknologi film tebal adalah substrat dan pasta. Substrat merupakan media tempat komponen film tebal diimplementasikan, sedangkan pasta adalah bahan pembentuk komponen film tebal, yang diformulasikan sedemikian rupa sehingga dapat dibentuk melalui proses pencetakan. Proses film tebal (*thick film process*) terdiri dari beberapa tahap yang meliputi pembuatan *screen*, pencetakan, pengeringan (*drying*), pembakaran (*firing*), *trimming* dan sejumlah proses tambahan lain seperti proses pemasangan kaki (*lead frame*) dan pengemasan (enkapsulasi).

METODOLOGI PENELITIAN

Disain Layout

Sensor gas CO terdiri dari dua bagian yaitu: *interdigital electrode* dan *heater*. *Interdigital electrode* dicetak atau di-*print* pada permukaan atas *substrate* sedangkan *heater* di-*print* pada belakang *substrate*. Ada dua jenis *interdigital electrode* : yang memiliki 8 *finger* dan 6 *finger*. Bahan yang digunakan untuk *interdigital electrode* dan *heater* adalah pasta emas. Untuk menghindari kontak luar maka *heater* dilapisi dengan pasta enkapsulasi dari bahan *dielectric*. Pada permukaan *interdigital electrode* akan dilapisi dengan bahan SnO₂. Ukuran sensor gas CO ini adalah, panjang (P) = 50 mm dan lebar (L) = 5,8 mm, dengan lebar jalur 0,5 mm. Dibutuhkan 4 (empat) buah masker untuk proses pembuatan sensor gas CO, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Masker sensor gas CO

Perancangan Pemanas

Temperatur adalah salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan dari sensor yang bersifat *chemoresistive*. Distribusi temperatur yang sesuai akan mempengaruhi tingkat selektifitas dan sensitifitas dari elemen sensor ini. Pada teknologi film tebal, pemanas untuk sensor gas umumnya dibuat dari pasta konduktif atau resistif (Au, Pt), namun ada juga yang memakai bahan dielektrik jenis *polymer*. Umumnya pemanas dirancang di sisi belakang substrat (berkebalikan dengan elemen sensor). Nilai resistans dari lapisan sensor (yang merupakan parameter utama yang menunjukkan sensitifitas sensor) sangatlah tergantung dari

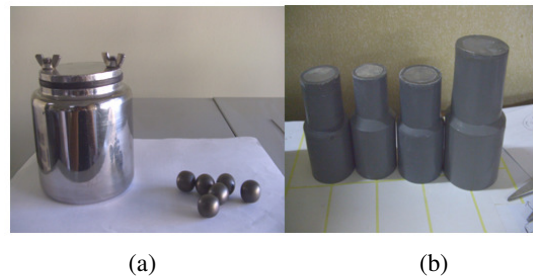
distribusi suhu, hal ini juga ditunjang oleh sifat substrat sebagai penghantar suhu yang sangat baik. Untuk menentukan karakteristik dari pemanas, parameter parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah: suhu yang diinginkan, daya yang dibutuhkan, dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan pemanas itu sendiri (TCR, disipasi arus maksimum yang mampu melewati, dll).

HASIL DAN PEMBAHASAN

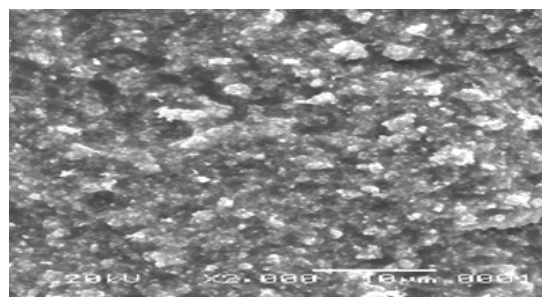
Untuk meningkatkan tingkat sensitifitas respon dari sensor gas CO ini maka perlu dilakukan proses (*treatment*) terhadap *sensing* material SnO₂ yang digunakan. Yaitu dengan melakukan proses *grinding* (pengerusan) untuk mengubah besaran serbuk SnO₂ tersebut menjadi butiran-butiran berskala nanometer. Hal ini dilakukan agar kecepatan reaksi butiran SnO₂ ini lebih menngkat dibandingkan dengan ukuran sebelumnya berbentuk *raw material*. Proses pengerusan (*grinding*) yang dilakukan dalam kegiatan penelitian ini adalah : *grinding* dengan *ball mill* dan *grinding* dengan menggunakan *mortar agate*.

• **Metode grinding dengan ball mill**

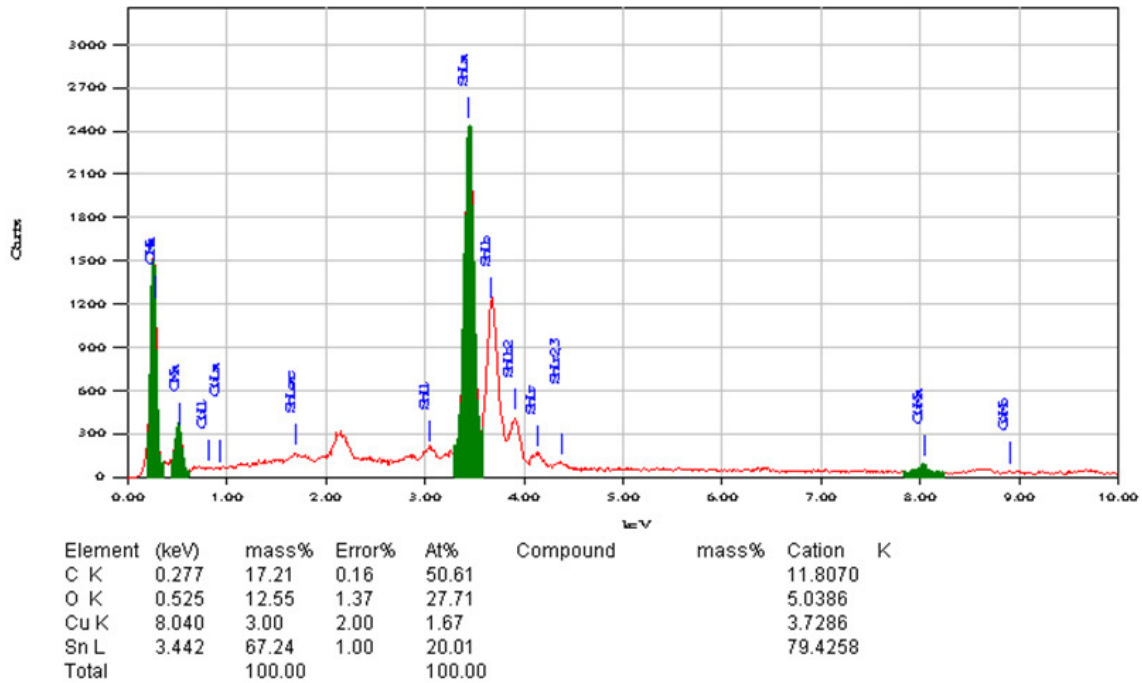
Pada metode ini serbuk SnO₂ ditempatkan pada peralatan *ball mill* seperti terlihat pada Gambar 3, kemudian proses *grinding* dilakukan dengan memutar *jar* dari *ball mill* tersebut dengan kecepatan konstan selama 15 jam. Hasil *grinding* ini dianalisis dengan menggunakan SEM (*Scanning Electro Microscopy*) untuk mengetahui struktur dari *grain size* hasil *grinding* tersebut dan EDAX untuk mengetahui komposisi material.



Gambar 3. (a) Bagian *jar* dan *ball mill*, (b) *stack mesh filter* 325



Gambar 4. Hasil SEM untuk serbuk SnO₂ yang di *grinding* dengan *ball mill*

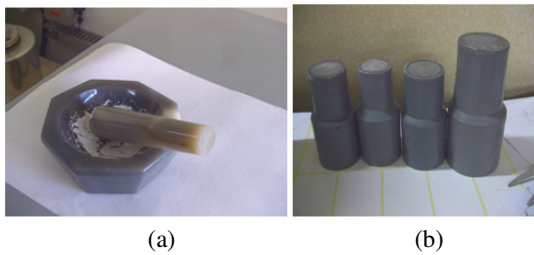


Gambar 5. Hasil analisis EDAX untuk serbuk SnO₂ grinding dengan ball mill

Dari hasil analisa SEM terlihat bahwa struktur ukuran butiran SnO₂ yang dihasilkan melalui proses grinding dengan ball mill masih cukup besar belum mencapai orde nanometer. Sedangkan hasil analisis EDAX terlihat bahwa butiran SnO₂ yang dihasilkan tercampur dengan material seperti C (karbon) serta Cu. Kemungkinan faktor pengotor ini muncul dari stainless ball mill itu sendiri yang digunakan sebagai grinder untuk butiran-butiran SnO₂ selama proses grinding.

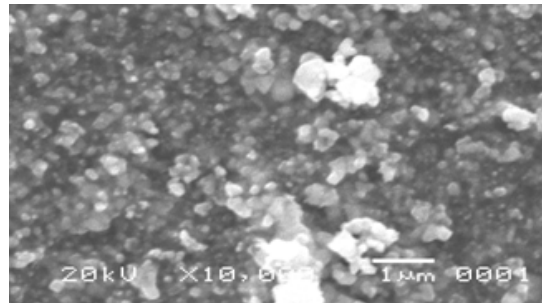
• **Metode grinding dengan mortar agate**

Metode ini dipilih karena mortar dengan berbahan dasar agate ini tidaklah mengotori butiran SnO₂ dengan material lainnya akibat proses grinding. Dalam metoda ini juga digunakan proses filter dengan menggunakan mesh filter empat tahap (disusun secara stack atau bertingkat) dengan ukuran mesh masing-masing filter sebesar 325 setelah serbuk SnO₂ di-grinding selama 3 jam secara manual (menggunakan tangan).



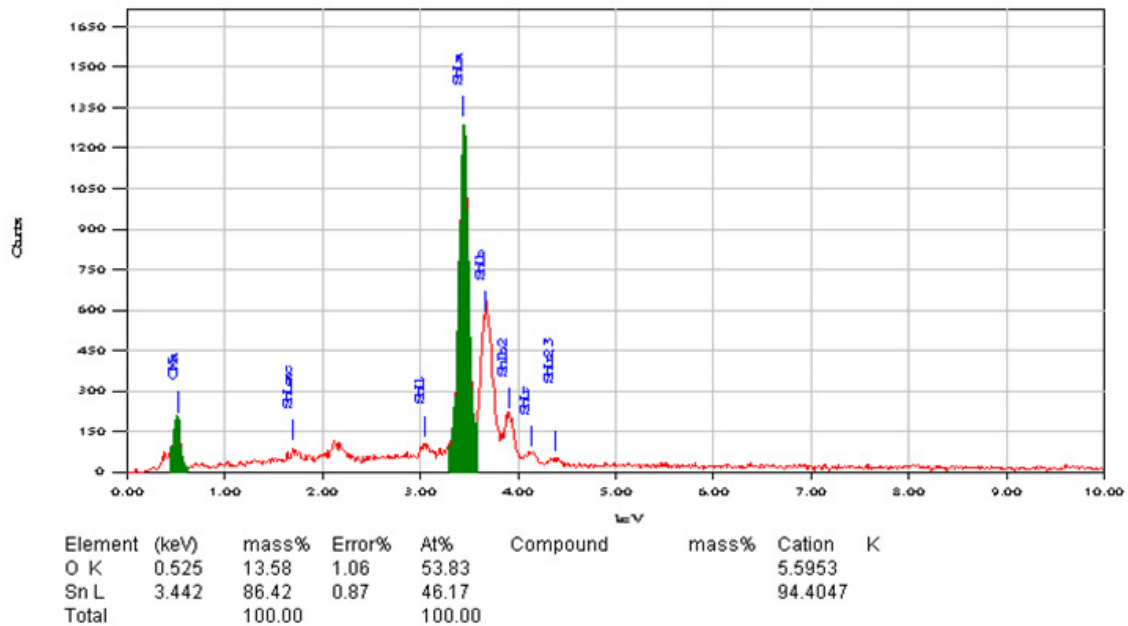
Gambar 6. (a) mortar agate; (b) stack mesh filter

Hasil grinding dan filter dari butiran-butiran SnO₂ ini juga dianalisis dengan menggunakan SEM dan EDAX untuk mengetahui ukuran butiran SnO₂ yang dihasilkan. Berikut ini adalah hasil SEM dan EDAX untuk butiran SnO₂ hasil grinding dengan menggunakan mortar agate dan stack mesh filter 4 tahap.

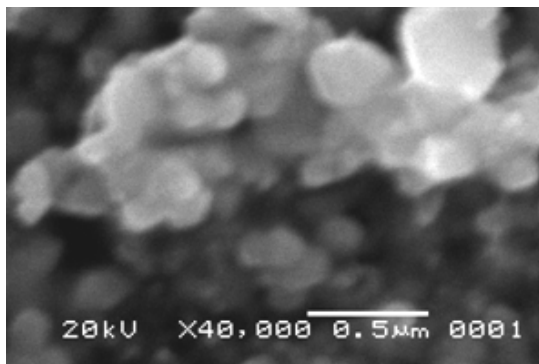


Gambar 7. Hasil SEM untuk butiran SnO₂ hasil grinding dengan mortar agate

Dari hasil analisis SEM terlihat bahwa struktur ukuran butiran SnO₂ yang dihasilkan melalui proses grinding dengan mortar agate cukup baik dan sudah berhasil mencapai orde nanometer. Sedangkan hasil analisa EDAX terlihat bahwa butiran SnO₂ yang dihasilkan tidak tercampur dengan material seperti C (karbon) serta Cu.



Gambar 8. Hasil analisis EDAX untuk butiran SnO₂ hasil *grinding* dengan *mortar agate*



Gambar 9. Hasil analisis SEM untuk serbuk SnO₂ murni dengan *mortar agate*

Fabrikasi Sensor

Tahapan proses pembuatan sensor gas teknologi film tebal ada 4 (empat). Masker dibutuhkan untuk fabrikasi dari sensor gas ini, terdiri dari: satu masker untuk *interdigital finger electrodes*, satu masker untuk pemanas, satu masker untuk lapisan isolasi pemanas dan satu masker untuk lapisan sensor. Selanjutnya proses pencetakan pemanas. Pasta emas (Dupont 8352) dicetak di atas selembar substrat dari bahan alumina 96% berukuran 5 cm x 5 cm dengan ketebalan 0,7 mm, menggunakan mesin *screen printer* tipe *Accu Coat 3230 Ossining NY 1056*. Setelah itu dikeringkan dalam oven dengan suhu 150°C selama 10 menit. Langkah selanjutnya adalah mencetak elektroda di balik pemanas. Pasta yang digunakan pasta emas (Dupont 8352). Selanjutnya dikeringkan pada suhu 150°C selama 10 menit,

kemudian bersamaan dengan pemanas dibakar pada suhu 850°C selama 30 menit dengan menggunakan sebuah tungku pembakaran terprogram jenis *Conveyor Belt Furnace RTC LA-310*.

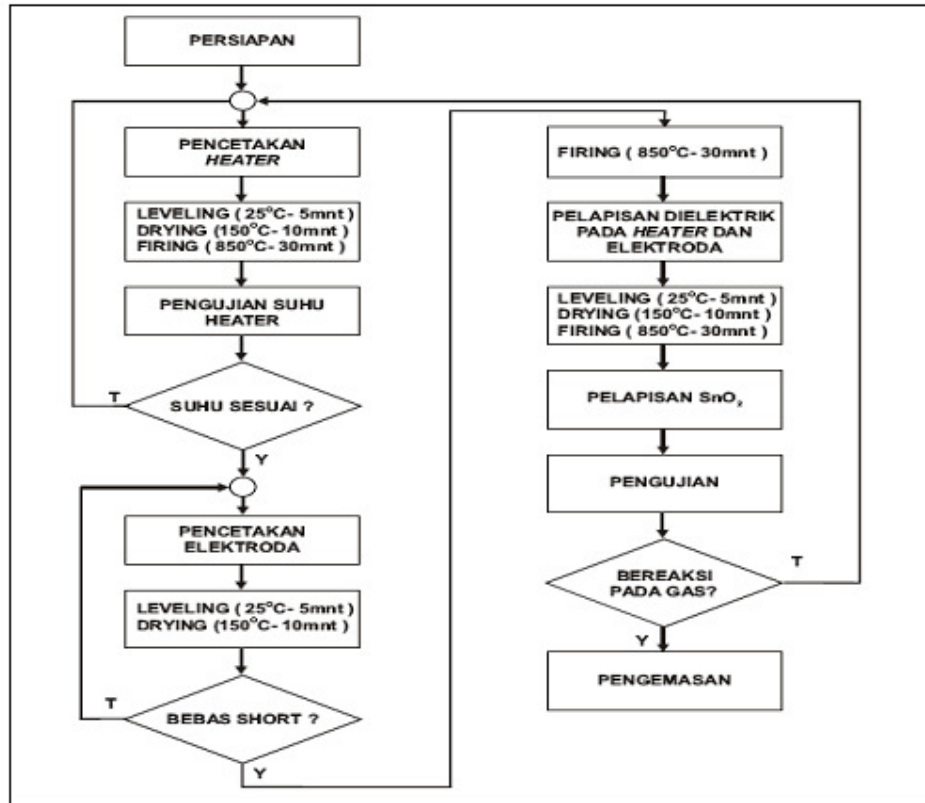
Setelah itu pemanas dan sebagian elektroda dilapisi dengan lapisan isolasi berupa pasta dielektrik (Dupont 8190), dengan metode yang sama dengan langkah sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah mencetak bahan lapisan sensor di atas elektroda. Bahan yang digunakan adalah SnO₂ (*tin dioxide*) dari MERCK, yang sebelumnya dilarutkan dengan larutan ethanol.



Gambar 10. Prototipe sensor gas CO yang belum dilapisi SnO₂



Gambar 11. Prototipe sensor gas CO yang telah dilapisi SnO₂



Gambar 12. Tahapan proses fabrikasi sensor gas CO

KESIMPULAN

Sebuah sensor gas berbasis bahan SnO₂ dengan teknologi film tebal telah selesai didesain dan fabrikasi. Proses pembuatan sensor gas dengan teknologi film tebal ini cukup simple, *robust* dan dimungkinkan untuk miniaturisasi dari sensor. Proses penggilingan (*grinding*) untuk memperoleh butiran-butiran SnO₂ dengan orde nanometer dipilih untuk meningkatkan sensitifitas butiran SnO₂ terhadap gas karbon monoksida (CO₂). Diharapkan prototipe sensor gas ini bisa digunakan untuk pengukuran kadar gas CO di udara, dan penelitian ini bisa dilanjutkan tahun depan untuk menyelesaikan proses karakterisasi sensor gas CO dan pembuatan rangkaian pengkondisi sinyal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Rekan tim peneliti Pak Hiskia, PhD, dan Robeth VM, ST., MT. yang telah banyak membantu dalam melakukan penelitian ini, dan Kepada DP2M Dikti yang membiayai penelitian sehingga dapat selesai tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. C. Liu, P. J. Hesketh, and G. W. Hunter, 2004, "Chemical Microsensors", *The Electrochemical Society Interface Summer*, pp. 22-27.

- [2] Andreas H., Oliver B., Christoph H., Henry B., 2003, "Microfabrication Techniques for Chemical/Biosensors", *Proceeding of The IEEE*, Vol. 91, No. 6, June, pp. 839-863.
- [3] A. V. d. Berg and Bergfeld, "Development of MTAS Concepts at The MESA Research Institute", Presented at *Analytical Methods and Instrumentation*, TAS'96 Conference, Basel.
- [4] G. Blankenstein and U. D. Larsen, "Modular Concept of A Laboratory on A Chip for Chemical and Biochemical Analysis", *Biosensors & Bioelectronics*, Vol. 13, pp. 427-438.
- [5] E. Depsey, D. Diamond, M. R. Smyth, G. Urban, G. Jobst, Isabella Moser, E. M. J. Verpoorte, A. Manz, H. M. Widmer, K. Rabenstein, and R. Freaney, 1997, "Design and development of A Miniaturised Total Chemical Analysis System for on-line Lactate and Glucose Monitoring in Biological Samples", *Analytica Chimica Acta*, Vol. 346, pp. 341-349.

- [6] A. Manz, N. Graber, and H. M. Widmer, 1990, "Miniaturized Total Chemical Analysis Systems : A Novel Concept for Chemical Sensing", *Sensors and Actuators, B*, Vol. 1, pp. 244-248.
- [7] A. Manz, E. Verpoorte, D. E. Raymond, C. S. Efenhauser, N. Burggraf, and H. M. Widmer, 1994, "M-TAS: Miniaturized Total Chemical Analysis Systems", Presented at *Micro Total Analysis Systems*, MESA Research Institute, University of Twente, The Netherlands.
- [8] Hiskia, D. Mulcahy, M. Haskard, and D. Davey, "Field-Portable Flow Injection Analyser for Monitoring of Water Pollution", Presented at *ECCIS 2000, Electric, Control, Communication Information*.
- [9] Hiskia, M. Haskard, D. Mulcahy, and D. Davey, 2000, "An Integrated Miniaturised Chemical Analysis System", Presented at *Simposium Fisika Nasional XVIII*, Kawasan PUSPITEK Serpong.
- [10] Atkinson, J.K., Cranny, A.W.J., Glasspool, W.N., Mihell, J.A., 1999, "An Investigation of The Performance Characteristics and Operational Lifetimes of Multi Element Thick Film Sensor Arrays Used in The Determination of Water Quality Parameters", *Sensors and Actuators B*, Vol. 54, pp. 215-231.
- [11] Novotny et al., 1999, "Thin Film Microelectrode Arrays for Electrochemical Biosensors", *44rd International Scientific Colloquium*, Technical University of Ilmenau, September 20-23.
- [12] Haskard, M., and Pitt, K., 1997, "*Thick Film Technology and Applications*", *Electrochemical Publications*.
- [13] Silber, A., Bisenberger, M., Brauchle, C., and Nampp, N., 1996, "Thick Film Multichannel Biosensor for Simultaneous Amperometric and Potentiometric Measurement", *Sensors and Actuators B*, Vol. 30, pp. 127-132.
- [14] Daniel R.T., Klara T., Richard A.D., George S.W., 1999, "Electrochemical Biosensors : Recommended Definitions and Classification", *Pure Appl. Chem.*, Vol.71, No.12, pp. 2333-2348.
- [15] Brian R. Eggins, 2002, *Chemical Sensors and Biosensors*, John Wiley, New York.
- [16] Donald L. Wise, 1991, *Bioinstrumentation and Biosensors*, Marcel Dekker, Inc.
- [17] Romas Baronas, Feliksas, Juozas Kulys, 2003, "The Influence of The Enzyme Membrane Thickness on The Response of Amperometric", *Sensors*, Vol. 3, pp. 248-262.
- [18] S. Zhang, G. Wright, Y. Yang, 2000, "Materials and Techniques for Electrochemical Biosensor Design and Construction", *Biosensors & Bioelectronics*, Vol. 15, pp. 273-282.
- [19] Haskard, Malcolm R, 1988, *Thick Film Hybird Manufacture and Design*, Prentice Hall, Inc, New Jersey.