

NANO STRUKTUR BAHAN SENSITIF SnO₂ PADA SENSOR GAS CO UNTUK MEMANTAU GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR**Aminuddin Debataraja^{1,3)}, Wayan Sukania²⁾ dan Latif Mawardhi³⁾**¹⁾Dosen Tidak Tetap Jurusan Teknik Mesin FT-Universitas Tarumanegara²⁾Dosen Tetap Jurusan Teknik Mesin FT-Universitas Tarumanegara³⁾Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta

Kampus Baru Universitas Indonesia Depok 16425

Telp./Fax. (021)786 3531

e-mail: adebatara@ yahoo.com

Abstrak

Kebutuhan akan sistem sensor kimia dan biologi untuk aplikasi lingkungan, kesehatan dan industri semakin meningkat di seluruh dunia. Seiring dengan perkembangan ilmu di bidang kimia, fisika, biologi dan mikroelektronika yang sangat pesat dan dengan kombinasi dari bidang-bidang ilmu tersebut, maka saat ini dapat dihasilkan mikrosensor yang berukuran kecil, sensitive, akurat dan diproduksi dengan biaya murah (*low cost*). Lebih jauh lagi dengan kemajuan teknologi nano (*nanotechnology*) dan *MEMS* (*micro electro mechanical system*) dapat dihasilkan sistem mikrosensor yang terintegrasi dalam sebuah chip atau substrat yang berukuran skala mikro atau nano dengan tujuan untuk mempercepat proses analisa, mengurangi volume sample dan reagent serta menekan biaya produksi menjadi sekecil mungkin. Diprediksikan dimasa mendatang teknologi *MEMS* dan nano akan memegang peranan penting pada berbagai bidang industri. Saat ini, pembuatan mikrosensor kimia dan biologi merupakan topik yang sangat menarik dan banyak dikembangkan di laboratorium-laboratorium di seluruh dunia. Salah satu sensor kimia yang banyak dikembangkan adalah mikrosensor gas carbon monoxide (CO), hal ini seiring dengan tingginya polusi udara yang terjadi akibat emisi gas buang dari pabrik dan kendaraan bermotor.

Kata Kunci: mikrosensor, gas carbon monoxide (CO), *MEMS*, nanotechnology.**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 berlebihnya 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.

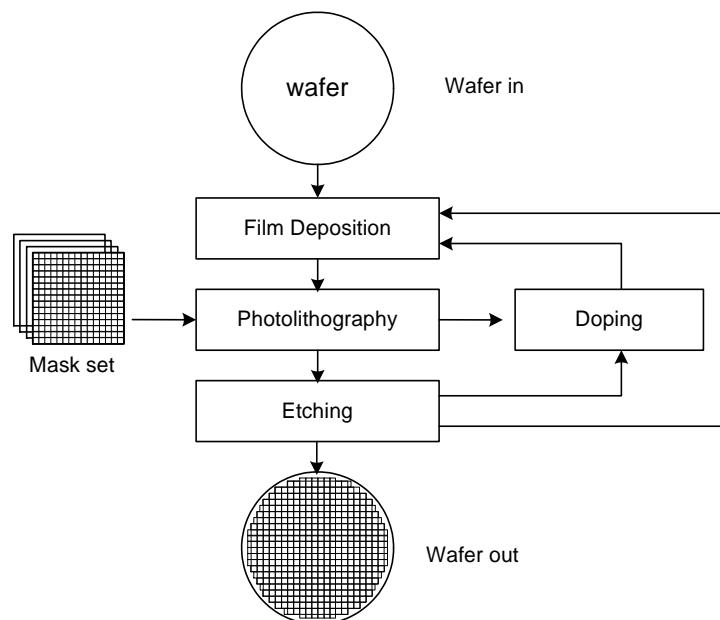
Tabel 1. Emisi Gas Buang Kendaraan dan Dampaknya terhadap Kesehatan*

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 pendrita 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 2000.

Kebutuhan akan sistem sensor kimia dan biologi untuk aplikasi lingkungan, kesehatan dan industri semakin meningkat diseluruh 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 minituarisasi 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* (μ TAS) [3-9]. Teknologi proses yang banyak digunakan untuk pembuatan mikrosensor atau mikrodevices adalah *silicon-based microfabrication* yang dapat menghasilkan struktur yang berukuran mikrometer dan memungkinkan untuk membuat microsensor 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 effectif 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 kompatible 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).

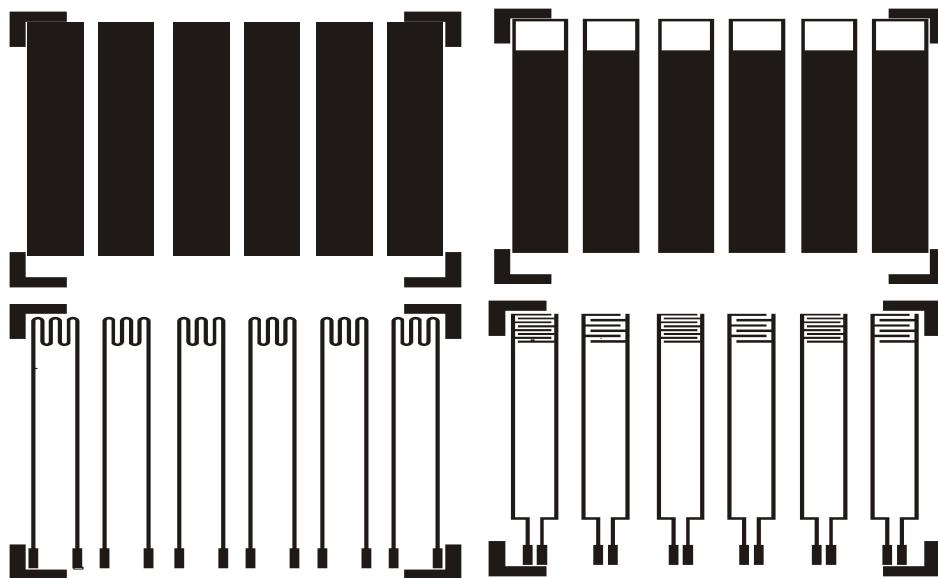


Gambar 1. Flow diagram dari proses fabrikasi IC [2]

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 petengahan 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 mikroelectronika 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).

Eksperimen**Disain Layout**

Sensor Gas CO terdiri dari dua bagian yaitu: interdigital electrode dan heater. Interdigital electrode di cetak 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 encapsulasi dari bahan dielectric. Pada permukaan interdigital electrode akan dilapisi dengan bahan SnO_2 . 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 pengantar 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 Proses material SnO_2 dengan teknologi nano

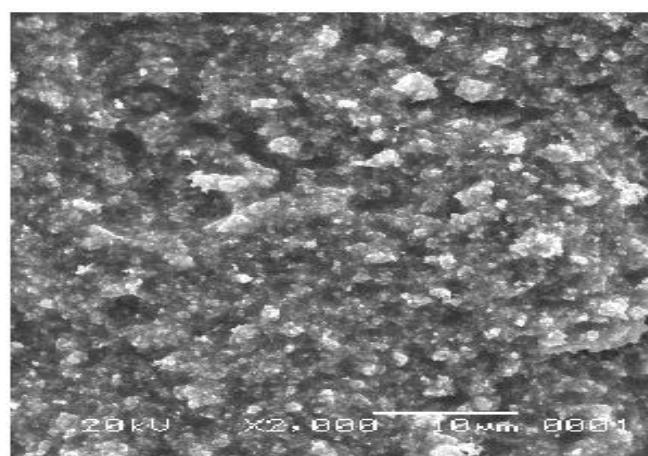
Untuk meningkatkan tingkat sensitifitas respon dari sensor gas CO ini maka perlu dilakukan proses (*treatment*) terhadap sensing material SnO_2 yang digunakan. Yaitu dengan melakukan proses *grinding* (penggerusan) untuk mengubah besaran serbuk SnO_2 tersebut menjadi butiran-butiran berskala nanometer. Hal ini dilakukan agar kecepatan reaksi butiran SnO_2 ini lebih meningkat dibandingkan dengan ukuran sebelumnya berbentuk *raw material*. Proses pengerasan (*grinding*) yang dilakukan dalam kegiatan penelitian ini adalah: *grinding* dengan *ball mill* dan *grinding* dengan menggunakan mortar agate.

• Metoda grinding dengan ball mill

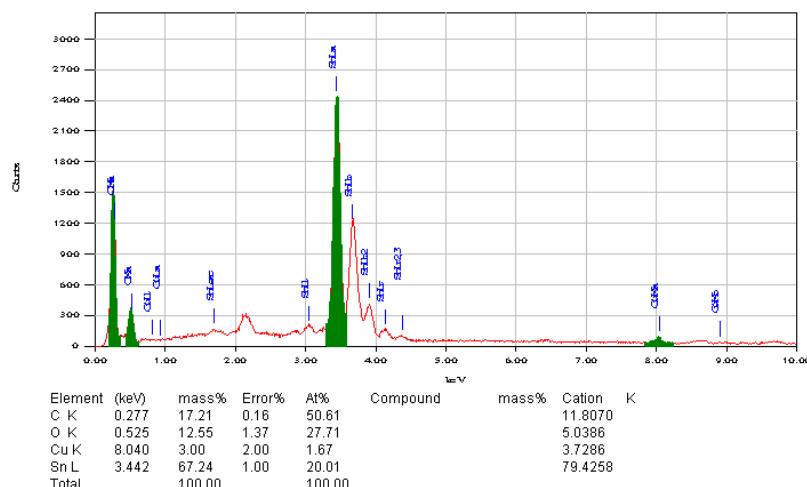
Pada metoda ini serbuk SnO_2 ditempatkan pada peralatan *ball mill* seperti terlihat pada gambar 23, kemudian proses grinding dilakukan dengan memutar *jar* dari *ball mill* tersebut dengan kecepatan konstan selama 15 jam. Hasil *grinding* ini dianalisa dengan menggunakan SEM (*Scanning Electro Microscopy*) untuk mengetahui struktur dari *grain size* hasil ginding tersebut dan EDAX untuk mengetahui komosisi material.



Gambar 3. (a) Bagian jar dan bal mill. (b) stack mesh filter 325



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

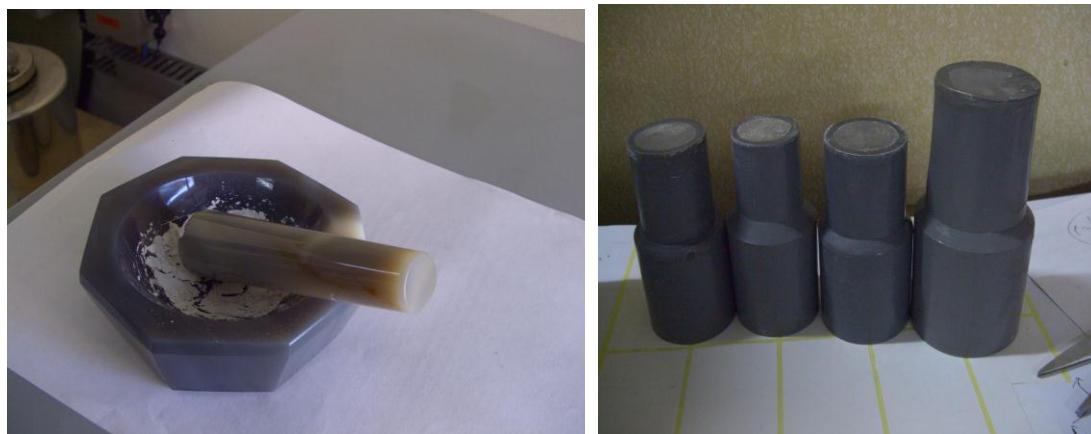


Gambar 5. Hasil analisa EDAX untuk serbuk SnO₂ grinding dengan ball mill

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 analisa 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*.

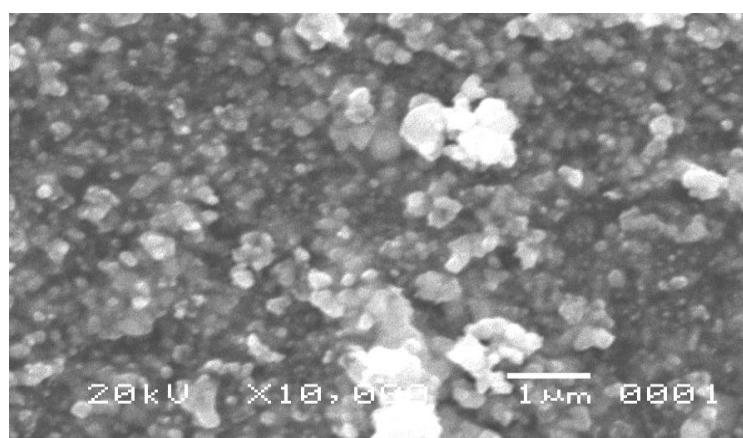
- Metode grinding dengan mortar agate**

Metoda ini dipilih karena mortar dengan berbahan dasar agate ini tidaklah mengotori butiran SnO_2 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 SnO_2 di-grinding selama 3 jam secara manual(menggunakan tangan).

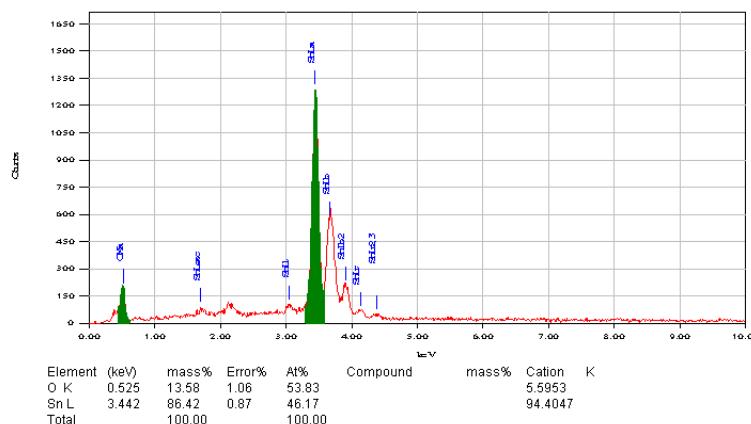


Gambar 6. (a) mortar agate; (b) stack mesh filter 325

Hasil *grinding* dan filter dari butiran-butiran SnO_2 ini juga dianalisa dengan menggunakan SEM dan EDAX untuk mengetahui ukuran butiran SnO_2 yang dihasilkan. Berikut ini adalah hasil SEM dan EDAX untuk butiran SnO_2 hasil *grinding* dengan menggunakan mortar agate dan *stack mesh filter* 4 tahap.

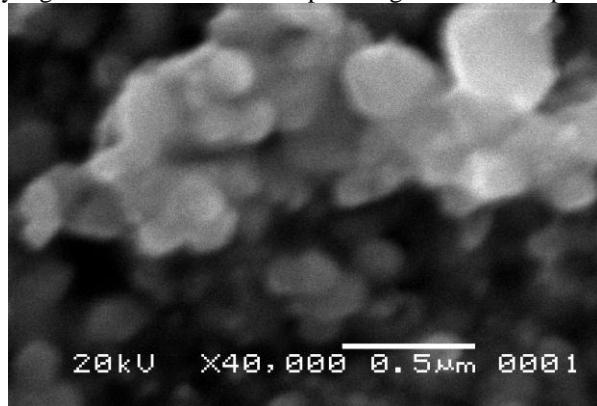


Gambar 7. Hasil SEM untuk butiran SnO_2 hasil *grinding* dengan mortar agate



Gambar 8. Hasil analisa EDAX untuk butiran SnO_2 hasil grinding dengan mortar agate

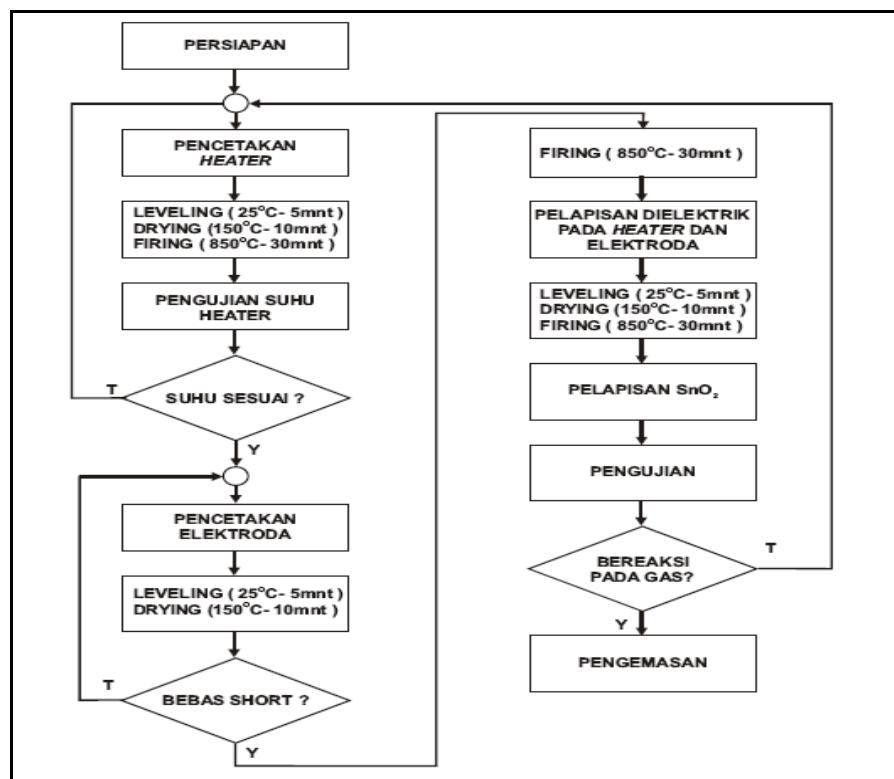
Dari hasil analisa SEM terlihat bahwa struktur kurang butiran SnO_2 yang dihasilkan melalui proses grinding dengan mortar agate cukup baik dan sudah berhasil mencapai orde nanometer. Sedangkan hasil analisa EDAX terlihat bahwa butiran SnO_2 yang dihasilkan tidak tercampur dengan material seperti C(karbon) serta Cu.



Gambar 9. Hasil analisa SEM untuk serbuk SnO_2 muri dengan mortar agate

Fabrikasi Sensor

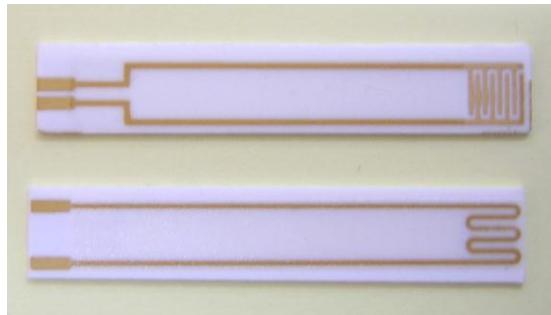
Tahapan proses pembuatan sensor gas teknologi film tebal Ada 4 (empat) masker dibutuh untuk fabrikasi dari sensor gas ini, terdiri dari: satu masker untuk *interdigital finger electrodes*, satu masker untuk pemanas, satu masker untuk lapisan isolasi pemanas dan satu masker untuk lapisan sensor. Selanjutnya proses pencetakan pemanas. Pasta emas (Dupont 8352) dicetak diatas 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*.



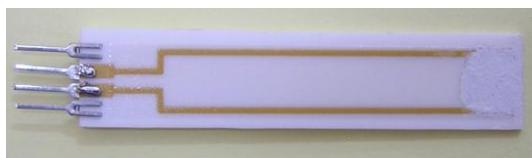
Gambar 10. Tahapan Proses Pabrikasi Sensor gas CO

Setelah itu pemanas dan sebagian elektroda dilapisi dengan lapisan isolasi berupa pasta dilektrik (Dupont 8190), dengan metode yang sama dengan langkah sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah mencetak bahan

lapisan sensor diatas elektroda. Bahan yang digunakan adalah SnO_2 (*tin dioxide*) dari MERCK, yang sebelumnya dilarutkan dengan larutan ethanol..



Gambar 11. Prototipe Sensor gas CO yang belum dilapisi SnO_2



Gambar 12. Prototipe Sensor gas CO yang telah dilapisi SnO_2

Kesimpulan

Sebuah sensor gas berbasis bahan SnO_2 dengan teknologi film tebal telah selesai didisain 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 SnO_2 dengan orde nanometer dipilih untuk meningkatkan sensitifitas butiran SnO_2 terhadap gas Carbonmonoksida (CO_2). 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.

Daftar Pustaka

1. C. C. Liu, P. J. Hesketh, and G. W. Hunter, (2004), *Chemical Microsensors*, The Electrochemical Society Interface • Summer 2004, 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 2003. 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, 1996.
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, 1998.
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, 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, 1997.
6. A. Manz, N. Gruber, and H. M. Widmer, "Miniaturized total chemical analysis systems: a novel concept for chemical sensing," *Sensors and Actuators, B*, vol. 1, pp. 244-248, 1990.
7. A. Manz, E. Verpoorte, D. E. Raymond, C. S. Effenhauser, N. Burggraf, and H. M. Widmer, *m-TAS: Miniaturized Total Chemical Analysis Systems*, presented at Micro Total Analysis Systems, MESA Research Institute, University of Twente, The Netherlands, 1994.
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, 2000.
9. Hiskia, M. Haskard, D. Mulcahy, and D. Davey, *An Integrated Miniaturised Chemical Analysis System*, presented at Simposium Fisika Nasional XVIII, Kawasan PUSPITEK Serpong, 2000.
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, 1999.
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, 30, 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*, New York: John Wiley.
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 2003, 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.
20. Hann S., (2002), *SnO₂ thick film sensors at ultimate limits: Performance at low O₂ and H₂O concentrations; Size reduction by CMOS technology- DISSERTATION*, der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Germany.
21. Licznerski B., (2004), *Thick-film gas microsensors based on tin dioxide*, Faculty of Microsystem Electronics and Photonics, Wrocław University Of Technology, 11/17 Janiszewskiego St., 50-372 Wrocław, Poland.
22. Xingjiu Huang, Jinhuai Liu, Zongxin Pi, Zengliang Yu, (2003), *Detecting Pesticide Residue by Using Modulating Temperature Over a Single SnO₂-Based gas Sensor*, Sensors, Vol. 3, pp. 361-370.
23. Hyee-Jung Lee, Jae-Hoon Song, Young-Soo Yoon, Tae-Song Kim, Kwang-Joo Kim, Won_Kook Choi, (2001), *Enhancement of CO sensitivity of Indium Oxide-based Semiconductor Gas Sensor Through Ultra-thin Cobalt Adsorption*, Sensors and Actuators B, Vol. 79, pp. 200-205
24. Isolde Simon, Nicolae Barsan, Michael Bauer, Udo Weimar, (2001), *Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performance*, Sensors and Actuators B, 73, pp. 1-26.
25. Steven R. Davis, Alan V. Chadwick, John D. Wright, (1998), *The effect of crystallite and dopant migration on the carbon monoxide sensing characteristics of nanocrystalline tin oxide based sensor materials*, Journal of Materials Chemistry, 8 (9), pp. 2065-2071.
26. Ulo Kerson, (2003), *The Gas-Sensing Potential Of Nanocrystalline SnO₂ Produced By Different Chemical Reactions and Milling Conditions*, Report 70, Helsinki University of Technology Department of Electrical and Communication Engineering Laboratory of Electromechanics.