

## EKSTRAKSI PASIR SILIKAT (SILLICOND SAND) SEBAGAI MATERIAL SUBTRAT PADA SENSOR GAS DAN TURUNANNYA

Tossin Alamsyah<sup>1</sup>✉, Dewa Putu Hermida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Program Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Universitas Indonesia Depok, 16421

<sup>2</sup>Puslit Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Jl. Cisititu 21/154 D, Bandung - 40135

✉ e-mail: [tossin.alamsyah@elektro.pnj.ac.id](mailto:tossin.alamsyah@elektro.pnj.ac.id)

### Abstract

*Silica sand is a material from crystalline silica (SiO<sub>2</sub>) and other compounds containing other materials during the deposition process, having a combined composition of SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, and K<sub>2</sub>O. Sensitivity ((Si) of the gas sensor is influenced by the porosity (Ø) of the surface of the substrate, generally the substrate material of the gas sensor is used alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) or dioxide silicon (SiO<sub>2</sub>). This article discusses the results of the sintering process on silica sand which aims to obtain the structure SiO<sub>2</sub> is good, on the parameter thermal resistivity (RT). The sintering process is carried out on silica sand with a mixture of aluminum sulfate (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) in the sintering at 1600o, the result is then milled into three (3) samples, namely sample A 300 mesh (44 µm), Sample B 500 mesh (25 µm) and sample C 1000 mesh (12 µm). Observation results, if the samples are heated to 1000, sample C has a high sensitivity (Si) to compare with samples A and B with a ratio of 5.7; 5.4 and 4.8. It was concluded that the substrate material with the size largest mesh of 1000 (12 µm) had a high thermal resistivity (RT) compared to the low mesh material size, sample A 300 mesh (44 µm) and Sample B 500 mesh (25 µm). If implemented in the CO gas sensor model, the result is that sample C with mesh 1000 (12 µm) has a greater thermal sensitivity (ST) than samples B and A.*

**Keywords :** Ekstraktion, Silica Sand, Material Substrate, SiO<sub>2</sub>, Gas Sensor.

### Abstrak

*Pasir silika adalah material dari kristal silika (SiO<sub>2</sub>) dan senyawa lainnya yang mengandung material lain selama proses deposisi, memiliki komposisi gabungan dari SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, dan K<sub>2</sub>O. Sensitivitas((Si) sensor gas dipengaruhi oleh porositas(Ø) permukaan substrat, umumnya substrat material dari sensor gas digunakan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) atau dioxide silikon (SiO<sub>2</sub>). Pada artikel ini dibahas hasil proses sintering pada pasir silika yang bertujuan untuk mendapatkan struktur SiO<sub>2</sub> yang baik, pada parameter resistivitas termal (RT). Proses sintering dilakukan pada pasir silika dengan campuran aluminium sulfat (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) pada si sintering pada 1600o, hasilnya kemudian di milling menjadi tiga (3) buah sampel yaitu sampel A 300 mesh (44 µm), Sampel B 500 mesh (25 µm) dan sampel C 1000 mesh (12 µm). Hasil pengamatan, jika sampel-sampel tersebut dipanaskan sampai 1000, sampel C memiliki Sensitivity (Si) tinggi untuk dibandingkan dengan sampel A dan B dengan rasio 5,7; 5,4 dan 4,8. Disimpulkan bahwa bahan substrat dengan ukuran mesh terbesar yaitu 1000 (12 µm) memiliki resistivitas termal (RT) yang tinggi dibandingkan dengan ukuran bahan mesh rendah, sampel A 300 mesh (44 µm) dan dan Sampel B 500 mesh (25 µm). Jika diimplementasikan dalam model sensor Gas CO, dihasilkan bahwa sample C dengan mesh 1000 (12 µm) memiliki thermal sensitivitas (ST) yang lebih besar dibandingkan dengan sampel B dan A.*

**Kata Kunci :** Ekstraksi, Pasir Silikat, Material Substrat, Sensor Gas

### Pendahuluan

Material maju adalah material heterostruktur yang disusun oleh dua atau lebih bahan alam yang dikembangkan untuk mendapatkan material baru yang memiliki sifat kelistrikan yang lebih baik,

material maju merupakan hasil dari kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kebutuhan akan material maju terus meningkat sejalan dengan majunya teknologi ICT, prediksi kebutuhan akan teknologi material maju ke depan akan sangat menjanjikan, hal ini di- indikasikan

dengan keadaan dengan berkembangnya komponen elektronika sebagai pendukung IOT (internet of thing), smart sensor dan yang lainnya untuk mendukung implementasi Revolusi 5.0.

Saat ini komponen elektronika dituntut memiliki konsumsi daya yang rendah dan dapat bekerja pada frekuensi Tera herzt. Material heterostruktur dari Silikon-Germanium (SiGe) salah satu material maju yang digunakan sebagai material basis pada Heterojunction Bipolar Transistor (HBT), sehingga komponen ini memiliki konsumsi daya yang rendah orde miliwatt dan bekerja pada frekuensi diatas 10 GHz. [tossin alamsyah at all]

Menurut buku putih Kemenristek tahun 2010-2020, Penelitian, Pengembangan Iptek Target produksi dan Pengembangan material maju yang diproduksi diutamakan pada material maju berbasis material dasar ; Silikon, Tembaga, Polimer Konduktif dan Electronic Packaging.

Terdapat 3(tiga) hal besar yang perlu dikembangkan yaitu ;

- a) Kandungan sumber daya /alam bahan baku komponen material agar ditingkatkan kandungan lokalnya,
- b) Meningkatkan sifat dan performa materialnya,
- c) Mengubah struktur materialnya.

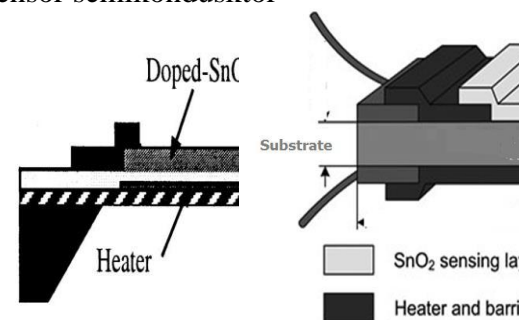
*Nanostructures* metal oxide sensor dikelempokan dalam tiga (3) karakteristik yaitu ; *conductometric, field effect transistor (FET) and impedometric one*[4]. *Conductometric* sensor bekerja berdasarkan perubahan resistansi dengan pengembangan teknologi mengarah ke nanoteknologi, MEMS, dan *smart material*.

Komposit sebagai material sensor memberikan pengaruh yang signifikan pada unjuk kerja sensor. Komposit adalah material hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih dari paduan yang sifat kimia dan fisiknya. Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit berikatan dengan kuat, dengan penambahan *wetting agent, proses*

*sintering* adalah salahs atunya.. Hasil penelusuran material komposit yang mengandung silikon sebagai bahan anoda yaitu MgO-SiO<sub>2</sub> , AlSiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, AlSiCO<sub>2</sub>, SiAlC, Cr-Si, NiSi<sub>2</sub>,NiSi, FeSi<sub>2</sub>, TiN, Si/C, TiC, nano aktif silikon dengan penambahan partikel logam eksternal seperti Fe dan Cu, juga grafit dan karbon hitam.

Salah cara kerja sensor gas yang dikenal secara umum adalah menggunakan prinsip *chemoresistor*, yang menggunakan teknologi *thick film*. Sensor gas berbasis teknologi film tebal menggunakan sepasang elektroda berbentuk *interdigital transducers*, yaitu sepasang elektroda paralel yang membentuk jari-jari sisir periodik, keduanya saling berhadapan dan saling bertaut, dicetak pada keping substrat (alumina *planar*) dengan metode *screen printing*. Sedangkan elemen sensornya (elemen sensitiv) sensornya dicetak dengan metode *screen printing* juga di atas substrat, konduktifitas pada elektrode akan berubah dengan adanya unsur- unsur kimia (dari gas) yang bekerja pada lapisan sensitif dari bahan semikonduktor (dalam hal ini SnO<sub>2</sub> dan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Rancangan Sensor gas dengan struktur akan menghasilkan sensitivitas yang lebih baik, ditunjukkan pada Gambar 2(a) dan (2b) struktur ini lebih dikenal dengan Sensor semikonduktor



(a). Layout 2D Model Sensor Gas [Cwi han at all]

(b). Layout 3D Model Sensor Gas [Cwi han at all]

**Gambar 2.** Rancangan Sensor Gas

Tabel dibawah ini menunjukkan elemen sensor atau cover sensor yang berfungsi sebagai perangkat gas yang akan di *sensing*

**Tabel 1.** menunjukkan elemen dan material substrat dari sensor gas.

No.	Elemen sensor/ Cover sensor	Gas yang dideteksi
1.	SnO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> ,CO,NO <sub>2</sub> ,H <sub>2</sub> S,CH <sub>4</sub>
2.	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH,O <sub>2</sub>
3.	FeO <sub>3</sub>	CO
4.	Cr <sub>1.8</sub> Ti <sub>0.2</sub> O <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
5.	WO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> ,NH <sub>3</sub>
6.	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> ,NO <sub>2</sub>
7.	LaFeO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> ,NOX

Dari tabel 1. Di atas menunjukkan bahwa material substrat tidak berpengaruh pada target gas yang dideteksi tetapi akan berpengaruh pada Sensitivitas Sensor, seperti yang telah dilakukan secara eksperimental oleh I. A. Averina et all , 2014 dinyatakan bahwa porous (mesh) nanostructured pada substrat yaitu SiO<sub>2</sub> dan -SnO<sub>2</sub> sol-gel films berpengaruh pada Sensitivitas. [6] Zhan Z, dkk., 2013.menyatakan bahwa dengan memodifikasi material Substrat dapat meningkatkan kinerja Sensor CO, lebih sensitiv dengan thermal yang stabil.

Jadi artikel ini menjelaskan pengaruh pada material substrat SiO<sub>2</sub> dari hasil proses sintering, dengan ukuran porositas (mesh) yang bervariasi , terhadap Sensitivitas((Si) sensor gas

### Metode Penelitian

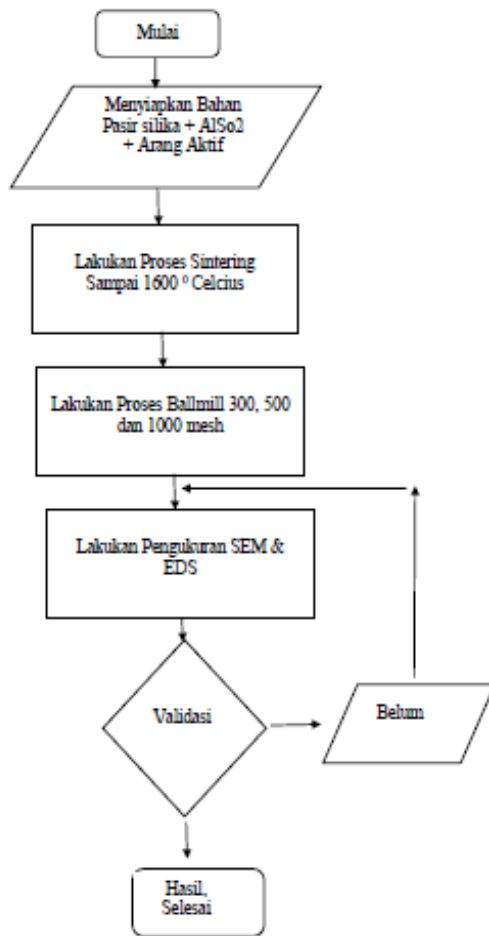
Metode penelitian disini menggunakan metode Kualitatif dengan melakukan kegiatan eksperimental di Laboratorium Teknik Elektro dan Laboratorium di tempat lain yang yang mendukung pelaksanaan penelitian ini.

1. Langkah pertama adalah menyiapkan pasir silkat dengan kemurnian 95%. Pasir ini didapat dari hasil pertambangan di

Cibadak Sukabumi.

2. Langkah kedua menyiapkan arang aktif (carbon active) yang berfungsi sebagai katalis saat pembakaran ,material ini dibeli dari PT. Batraco Bandung.
3. Langkah ketiga menyiapkan Tawas Butek (Al<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) material ini sebagai pembentukan komposit Al<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub> ,material ini dibeli dari PT. Batraco Bandung.
4. Langkah keempat adalah mengabungkan ketiga material tersebut dengan komposisi (70%, 20% dan 10%) komposisi ini untuk kemudian dilakukan proses sintering 1600 °C.
5. Membakar /mensintering matrial campuran tersebut selama 2 jam pada Temperatur 1400-1600 derajat celcius, kegiatan ini dilaksanakan di Balai Besar Keramik, Bandung.
6. Menghaluskan / milling material hasil sintering menjadi 300 mesh, 500 mesh dan 1000 mesh.
7. Melakukan Pengukuran SEM dan EDS untuk material tersebut, SEM bermaksud meliha porositas, dan EDS mengamati unsur yang ada pada material tersebut. Pelaksanaan pengukran di laksanakan di lab. Fisika ITB.
8. Mengukur *properties* kelistrikan material tersebut.
9. Merancang model Sensor Gas.

Flow chart dari aktifitas pengambilan sample adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Flowchart Kegiatan Penelitian.

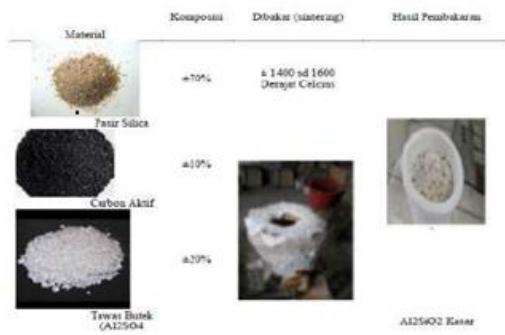
### Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil metodologi pelaksanaan kegiatan penelitian hasil yang dicapai adalah ketersediaan substrat dari  $\text{SiO}_2/\text{AlSiO}_2$  dengan mesh yang bervariasi serta hasil pengukuran pembacaan SEM dan EDS. Pengukuran SEM dan EDS dari 6 (buah) sample yang tersedia, pengukuran Scanning Electron Microscopy (SEM) menggunakan alat FEI INSPECT S50 dengan tegangan 10.000 kV dan perbesaran 1.500x. Untuk mendapatkan material komposit  $\text{AlSiO}_2/\text{SiO}_2$ , perlu dibutuhkan material pasir silika 95% , carbon aktif dan tawas butek (Alum) atau  $\text{AlSO}_4$ . Fungsi dari carbon aktif sebagai katalis saat disintering sedangkan penambahan tawas butek (Alum) sebagai tuning pengatur konduktivitas listrik. Ketiga

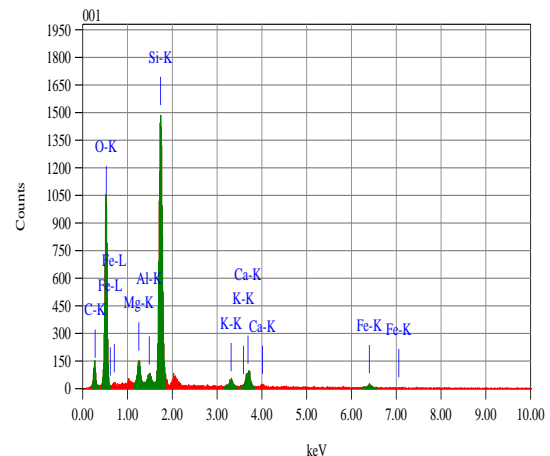
material tersebut kemudian dicampur dan dipadatkan serta dipanaskan (dibakar) dalam suhu 1600 derajat celcius selama dua jam. Untuk selanjutnya material hasil pembakaran atau sintering dihaluskan sampai memiliki ukuran Mesh 300~44 um, Mesh 500~25 um, dan Mesh 1000~12 um.

Material  $\text{SnO}_2$  digunakan sebagai elemen sensor yang langsung berhubungan dengan gas yang akan dideteksi adalah CO. Bila elemen  $\text{SnO}_2$  dipanaskan pada suhu tinggi tertentu di udara, oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal dengan muatan negatif . Elektron-elektron donor pada permukaan kristal ditransfer ke oksigen teradsorpsi, sehingga menghasilkan suatu lapisan ruang bermuatan positif. Akibatnya potensial permukaan terbentuk, yang akan menghambat aliran elektron. Di dalam sensor, arus listrik mengalir melalui bagian-bagian penghubung (batas butir) kristal kristal mikro  $\text{SnO}_2$ . Hasil kajian literatur sebelumnya bahwa sensor gas dengan struktur  $\text{SiO}_2/\text{SnO}_2$  memiliki selektivitas yang baik khususnya untuk gas karbon monoksida. Model Sensor dirancang mempunyai parameter fisik antara lain, elemen atau tudung berbahan  $\text{SnO}_2$  ketebalan sekitar 10 nm, Substrat atau base elemen  $\text{AlSiO}_2$ , tebal 2.5 mm, luas permukaan 125 mm<sup>2</sup>, terdiri tiga (3) sample yaitu (A) Mesh 300, (B)500 dan (C) 1000. Jenis gas yang digunakan pada uji coba adalah CO(Karbon monoksida).

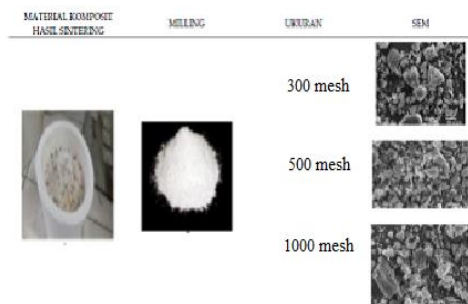
Gambar 4(a), 4(b) berikut merupakan proses sintering dan proses ballmill untuk mendapatkan sampe A,B dan C sesuai untuk selanjutnya dikuri SEM dan EDS nya.



Gambar 4(a). Proses pelaksanaan sintering di Balai Besar Keramik Bandung.



Gambar 4(d). Sample C Pembacaan EDS



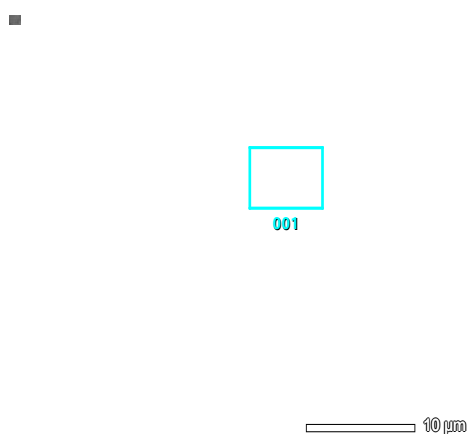
Gambar 4(b). Hasil Proses ballmill dan pengukuran SEM dan EDS.

Gambar 4(c), menunjukkan hasil pemindaian dengan SEM pada sample C dengan perbesaran 1000 kali. Pada perbesaran ini didominasi oleh material SiO<sub>2</sub>, dan material ikutannya antara lain :

### Hasil Pengujian SEM dan EDX

Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) dan EDS (Energy Dispersive X-Ray) pada penelitian ini untuk melihat penggambara struktur lapisan dan untuk mendeteksi Silikon Dioksida (SiO<sub>2</sub>) pada spesimen yang diuji. Selain itu dengan EDX juga dapat mengetahui unsur – unsur apa saja yang ada pada material ini.

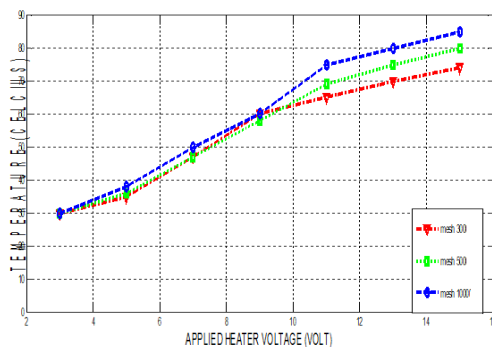
No.	Parameter	Mesh-1000	Mesh-500	Mesh-300
1.	kEV	0,27 – 6,2	0,277 - 2,48	0,52 - 1,74
2.	massa	52, - 0,24	7,0 -58	61.42- 38,5
3.	Error	0,69- 0,12	0,81- 0,15	0,34 - 0,32
4.	Atom	0,15 - 55,49	0,56-60	-
5.	C-K	9,7992	1.7283	-
6.	O_K	43,82	48.2010	49
7.	Mg_K	2,49	5.4342	-
8.	Al-K	0,98		-
9.	Si-K	36	44.6365	50,4
10.	K-K	1,7		-
11.	Ca-K	4,4		-
	Fe-K	2,2		-
<b>Total</b>				



Gambar 4(c). Mikrograf SEM Sample C

Dari tabel tersebut dapat diamati untuk mesh yang besar material yang yang terbaca cukup banyak seperti, C,O,Al,Mg,Si,K. Ca dan Fe, dibanding dengan mesh yang kecil, tetapi di domiansi Si dan O.

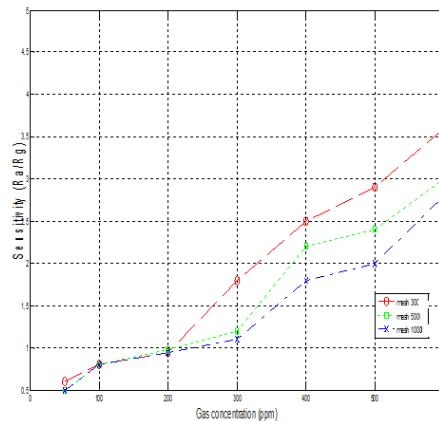
Untuk selanjutnya dilakukan pengukuran *thermal* konduktifitas dari ketiga sample tersebut, hasilnya dapat ditunjukkan pada grafik Gambar 5 di bawah ini. Dari grafik tersebut menunjukkan material dengan nilai mesh 1000 (sample A) memiliki thermal konduktivitas yang lebih tinggi disusul dibanding dengan nilai mesh 500 (sampel B), dan mesh 300 (sampel A). Pada pengukuran ini tegangan pada heater berkisar dari 3 Volt sampai 15 Volt, saat tegangan heater 11 Volt, material memiliki temperatur  $65^{\circ}\text{C}$  sampai  $75^{\circ}\text{C}$ , untuk selanjutnya naik secara proporsional.



**Gambar 5.** Temperatur vs Tegangan Heater

Dari grafik Gambar 5 juga diamati, temperatur terhadap tegangan heater didapatkan bahwa substrat dengan ukuran mesh yang besar 1000 mesh (sample C) memiliki capaian Temperatur yang tinggi dibanding mesh 300 dan 500 (sample B dan A), dengan Rasio 5,7; 5,4 dan 4,8, data ini diambil saat tegangan heater diatas 11 Volt. Berdasarkan dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa material substrat dengan ukuran mesh yang besar akan berbanding lurus dengan nilai thermal konduktivitasnya.

Jika diimplementasikan pada model sensor dengan SnO<sub>2</sub> sebagai elemen sensor dengan gas karbon monoksida (CO) sebagai gas yang diuji maka hasilnya dapat ditunjukkan pada grafik Gambar 6.



**Gambar 6.** Respon Sensitivitas terhadap gas konsentrasi

Pengujian sensitivitas diterapkan pada gas karbon monoksida (CO), besaran sensitivitas dinyatakan rasio  $R_a$  (resistivity electricity in the air) terhadap  $R_g$  (resistivity electricity when sensor measured gas), [Chenjai lii at all]. Hasilnya menunjukkan, bahwa sensor dengan substrat mesh 1000 (sample A) memiliki Sensitivity besar yaitu  $0.0055 \Omega/\text{ppm}$ , sedangkan untuk ukuran mesh 500 dan 300 (sample B dan C) nilai Sensitivitas (S) adalah,  $0.00455 \Omega/\text{ppm}$ , dan  $0.0041 \Omega/\text{ppm}$ . Dari kedua pernyataan dapat disimpulkan bahwa Temperatur dan Sensitivitas pada sensor Gas, adalah proporsional dengan ukuran mesh material pada substratnya.

### Kesimpulan

Material SiO<sub>2</sub> dengan ukuran 1000 mesh memiliki capaian temperatur yang tinggi dibanding mesh 500 dan 300, dengan nilai rasio 5,7 ; 5,4 dan 4,8. Keadaan ini berpengaruh pada sensitivitas. Subrat dengan mesh 1000 menghasilkan Sensitivitas  $0.0055 \Omega/\text{ppm}$ , sedangkan untuk ukuran mesh 500 dan 300, menghasilkan nilai Sensitivitas (S) adalah,  $0.00455 \Omega/\text{ppm}$ , dan  $0.0041 \Omega/\text{ppm}$ . Dari kedua pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa Temperatur (RT) dan Sensitivitas (Si) Sensor gas,

signifikan dengan ukuran mesh material pada substratnya.

### Saran

Penelitian ini perlu dikaji ulang lagi untuk mendapatkan hasil yang baik, tentunya dengan peralatan yang lebih presisi.

### Ucapan Terima Kasih

Disampaikan terimakasih kepada DRPM Kemenristek Dikti yang telah memberikan niaya untuk Penelitian Sensor, dengan material dari Pasir Silika yang diambil dari sumber alam di sekitar Jawa Barat.

### Daftar Pustaka

- [1] Kementrian Riset dan Teknologi, “*Buku Putih, Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Iptek 2005 -2025 Teknologi Material Maju*”, 2005.
- [2] Tossin Alamsyah, E Shintadewi Julian, 2016 .” *Rekayasa Silicon dan Germanium Sebagai Material Heterostruktur Pada Basis Heterojunction Bipolar Transistor Silicon–Germanium (SiGe-HBT)* “ Laporan Penelitian Hibah Kompetensi, P3M Politeknik Negeri Jakarta.
- [3] Jacob Praden , 2004“*Handbook of Modern Sensor, Physics, Design and Application*” Third Edit ion, Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg,
- [4] Tossin Alamsyah, Endang Saepuddin 2017 .” *Rekayasa Silicon Sand (Pasir silica) sebagai dasar Sensor Gas..* “ Laporan Penelitian PUPT , P3M Politeknik Negeri Jakarta.
- [5] *P. Song*<sup>1,2</sup>, *Z.-J. Peng*<sup>1</sup>, *Y.-L. Yue*<sup>2</sup>, *H. Zhang*<sup>2\*</sup>, *Z. Zhang*<sup>2</sup>, *Y.-C. Fan*<sup>3</sup> “,2015 “Mechanical properties of silicone composites reinforced with micron- and nano-sized magnetic particles,”, *eXPRESS Polymer Letters Vol.7, No.6 (2013) 546–553*
- [6] *Available online at [www.expresspolymlett.com](http://www.expresspolymlett.com),*
- [7] Mohammad Pourabas<sup>1</sup>, Mehdi Ghobeiti Hasab<sup>2,\*</sup>, Ali Heidary Moghadam<sup>3</sup>, 2016, ” Investigating the properties of Al-SiO<sub>2</sub> composite fabricated by the powder metallurgy method.” Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran *Department Journal of Energy Conversion, Vol. 2, No.*
- [8] Virginia Semiconductor, 2012 “ The General Properties of Si, Ge, SiGe, SiO<sub>2</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>” 1501 Powhatan Street, Fredericksburg, VA 22401-4647 USA Phone: (540) 373-2900, FAX (540) 371-0371 [www.virginiasemi.com](http://www.virginiasemi.com), [tech@virginiasemi.com](mailto:tech@virginiasemi.com)
- [9] A A Ponomareva<sup>1</sup>, 2, V A Moshnikov<sup>1</sup> and G Suchaneck<sup>2</sup>,2012,” Mesoporous sol-gel deposited SiO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub> nanocomposite thin films,” *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 30 (2012)*.
- [10] Chi-Hwan Han <sup>1</sup>, Sang-Do Han <sup>1,\*</sup> and S. P. Khatkar <sup>2</sup>, 2006,” Enhancement of H<sub>2</sub>-sensing Properties of F-doped SnO<sub>2</sub> Sensor by Surface Modification with SiO<sub>2</sub>,” *sensors* ISSN 1424-8220© 2006 by MDPI <http://www.mdpi.org/sensors>.
- [11] Guy Tournier, Christophe Pijolat,2005 “Selective filter for SnO<sub>2</sub> based gas sensors: application to hydrogen trace detection.” <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00009018>
- [12] Sun Y, Hu M, Zhou Z,2011 ” Effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles doped thick film ZnO gas sensor” *Chinese Journal of Sensors and Actuators, vol. 24, issue 6*
- [13] Fedorenko et al. Nanoscale Research Letters (2017) , “Semiconductor Gas Sensors Based

- on Pd/SnO<sub>2</sub> Nanomaterials for Methane Detection in Air “\*  
Correspondence: [georgf@ukr.net](mailto:georgf@ukr.net)  
This work was presented at NANO 2016, 24–27 August, Lviv, Ukraine. Taras Shevchenko National University of Kyiv,
- [14] George F. Fine, Leon M. Cavanagh, Ayo Afonja and Russell Binions, “Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring”, *sensors* ISSN 1424-8220  
[www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors),
- [15] Chenjia Li, Meng Lv, Jialin Zuo and Xintang Huang,” SnO<sub>2</sub> Highly Sensitive CO Gas Sensor Based on Quasi-Molecular-Imprinting Mechanism Design,” *sensors* ISSN 1424-8220  
[www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors),  
*Sensors* 2015, 15, 3789-3800; doi:10.3390/s150203789
- [16] S. B. Dhannasarea , S. S. Yawaleb , S.B.Unhalec , and S.P. Yawaleb,” Application of nanosize polycrystalline SnO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> solid material as CO<sub>2</sub> gas sensor”, *Revista Mexicana de Física* 58 (2012) 445–450 DICIEMBRE 2012
- [17] J. Woillensteina,\* , M. Burgmairb , G. Pleschera , T. Sulimab , J. Hildenbranda , H. Böttnera , I. Eiseleb,” Cobalt oxide based gas sensors on silicon substrate for operation at low temperatures,” a Department of Microsensors, Fraunhofer Institute of Physical Measurement Techniques, Heidenhofstrasse 8, D-79110 Freiburg, Germany b Institute of Physics, Universität der Bundeswehr München, 85577 Neubiberg, Germany, *Sensors and Actuators B* 93 (2003) 442–448, 0925-4005/03/\$ – see front matter # 2003 Elsevier Science B.V. All rights reserved. doi:10.1016/S0925-4005(03)00168-0
- [18] M De Salve<sup>1</sup> , G Monni<sup>1</sup> and B Panella<sup>1</sup>” Horizontal Air-Water Flow Analysis with Wire Mesh Sensor,” 6th European Thermal Sciences Conference (Eurotherm 2012) IOP Publishing.
- [19] Sri Agustini Sulandari, Lely Susita Dwi Murwani, “Studi Fabrikasi Isolator Silikon Dioksida (SiO<sub>2</sub>) Berbasis Lapisan Tipis Menggunakan Teknik Plasma *Glow Discharge*” *Jurnal Fisika Indonesia* No: 50, Vol XVII, Edisi Agustus 2013 ISSN : 1410-2994