

Studi Pengaruh Konsentrasi Kadar Gas Hidrogen Terhadap Tegangan dan Resistansi menggunakan Sensor Gas Hidrogen Berbasis Semikonduktor

Study on Hydrogen Gas concentration to Voltage and Resistance using Semiconductor Hydrogen Gas Sensor

Ahmad Arif Hasibuan*^{1,2}, Elin Yusibani² dan M. Syukri Surbakti³

¹Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Iskandar Muda, BMKG, Banda Aceh Indonesia

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala

³Program Studi DIII Teknik Elektronika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala

Received September, 2016, Accepted October, 2016

Studi tentang pengaruh konsentrasi kadar gas hidrogen terhadap perubahan tegangan dan resistansi menggunakan sensor gas hidrogen berbasis semikonduktor telah berhasil dilakukan. Sistem yang telah dirancang akan mengukur setiap perubahan tegangan dan resistansi secara digital pada sensor saat diberikan variasi terhadap konsentrasi kadar gas hidrogen. Pada kondisi gas dengan konsentrasi rendah diperoleh tegangan output sensor senilai 0.08 Volt dan nilai resistansi sensor sebesar 180 K . Pada peningkatan konsentrasi gas menyebabkan peningkatan tegangan output sensor dan sebaliknya terjadi penurunan pada nilai resistansi

Study on hydrogen gas concentration to changes in voltage and resistance using semiconductor hydrogen gas sensor has been done. The system which has been designed will measure any changes in the voltage and resistance of the sensor automatically when the sensor is given a variation of concentration on hydrogen gas. On the condition of gas with low concentration, the sensor output voltage obtained worth 0:08 Volt and the sensor resistance value of 180 K . On the increase in gas concentration causes an increase in sensor output voltage and a decrease in the value of resistance

Keywords: Gas Hidrogen, Sensor Semikonduktor, tegangan, hambatan

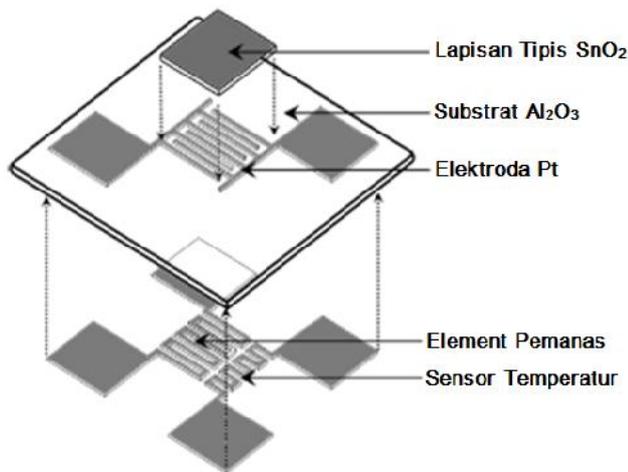
Pendahuluan

Hidrogen merupakan unsur yang paling ringan dan sangat reaktif secara kimia sehingga dapat bereaksi dengan setiap unsur yang bersifat oksidator. Sifat reaktif ini menyebabkan hidrogen banyak ditemukan di alam bebas (Koroneos dkk., 2004). Hidrogen memiliki nomor atom satu di dalam tabel periodik dengan massa atom sebesar 1,008 gr/mol. Atom hidrogen dibentuk oleh inti nukleus dari satu unit muatan positif (proton) dan satu unit muatan negatif (elektron) (Molkov, 2012). Pada saat ini terdapat beberapa teknologi sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas hidrogen, salah satunya adalah sensor jenis *Metal Oxide Semiconductor (MOS)*. Material sensor jenis

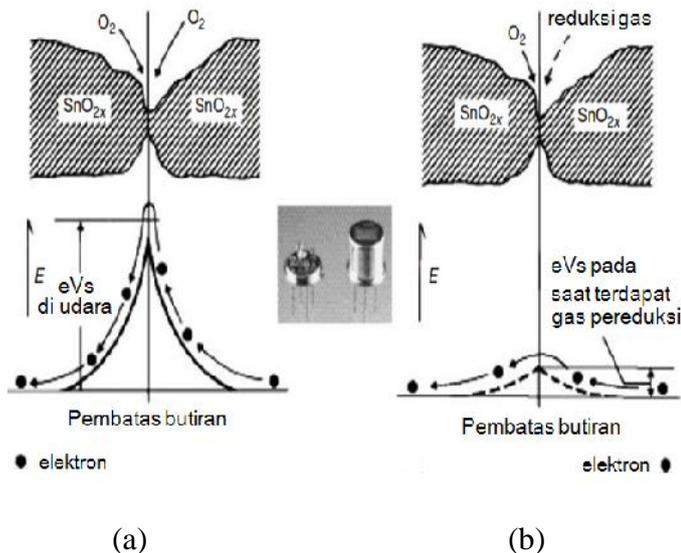
tersebut merupakan semikonduktor oksida logam yang dapat merespon keberadaan jenis gas berdasarkan perubahan pita energi pada temperatur tertentu. Keberadaan gas reduktor seperti hidrogen akan mengikat sejumlah molekul oksigen sehingga dapat mengurangi tinggi potensial *barrier* dan proses transfer elektron antar pita energi pada bahan semikonduktor akan menjadi lebih optimal (Barsan, 1999). Berdasarkan mekanisme kerja sensor tersebut sehingga dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh keberadaan konsentrasi kadar gas hidrogen terhadap perubahan tegangan dan resistansi sensor yang dapat bermanfaat untuk pengembangan sistem pendeteksian kebocoran gas hidrogen sebagai *early warning system*.

Metodologi

Alat utama yang digunakan adalah sensor gas berbasis metal oxide semikonduktor (MQ-8), Mikrokontroler berbasis Arduino Uno, *Liquid Crystal Display* (LCD) dan Multimeter. Metal oxide Semikonduktor (MOS) adalah jenis material yang merupakan kategori sensor gas yang terbuat dari bahan koil Platina (Pt) sebagai pemanas dan elektroda. Penggunaan tin dioxide (SnO_2) sebagai lapisan tipis yang sensitif terhadap gas (Taguchi, 1971).



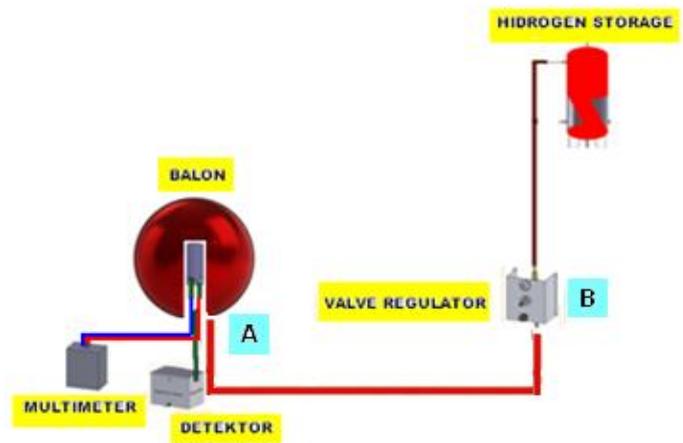
Gambar 1 Struktur lapisan sensor MOS yang digunakan pada rancangan ini (Miller, 2006)



Gambar 2 (a) Kondisi tanpa gas H_2 (b) Kondisi dengan gas H_2 (Soundarajan dan Schweighardt, 2008)

Gambar 1 merupakan struktur lapisan sensor MOS dimana konduktifitas sensor akan berubah dengan adanya unsur-unsur kimia dari gas yang bekerja pada lapisan tipis dari bahan semikonduktor (dalam hal ini

SnO_2). Perubahan konduktifitas tersebut terjadi karena adanya perpindahan elektron-elektron valensi pada atom-atom material sensor akibat adanya reaksi dengan gas reaktan. Reaksi yang terjadi antara material sensor dan gas tersebut dapat bersifat oksidasi atau reduksi.

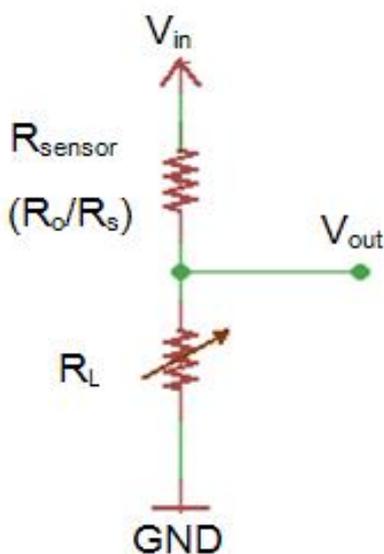


Gambar 3. Sistematisa pengujian pembahan konsentrasi gas hidrogen pada sistem sensor berbasis MOS yang telah dirancang pada penelitian ini

Pada keadaan udara normal permukaan bahan semikonduktor akan diliputi oleh lapisan molekul oksigen. Ketika kristal SnO_2 dihangatkan pada temperatur tertentu maka konsentrasi molekul-molekul oksigen akan diserap pada permukaan kristal material. Oksigen akan terionisasi dan terikat pada material SnO_2 dalam bentuk ion-ion negatif. Elektron-elektron donor pada permukaan kristal SnO_2 akan ditransferkan untuk mengikat ion oksigen tersebut. Hal ini menyebabkan tinggi penghalang antar elektron (*potential barrier*) meningkat dan menghambat laju aliran elektron pada kristal sehingga arus listrik yang mengalir melewati daerah *grain boundary* terhambat. Keberadaan molekul gas hidrogen akan mengikat sejumlah molekul oksigen sehingga potensial *barrier* akan menurun. Hal tersebut mengakibatkan kenaikan konduktivitas bahan semikonduktor dan nilai resistansi sensor akan menurun (Barsan, 1999). Gambar 2 (a) dan (b) menjelaskan kondisi pada saat tidak terdapat gas hidrogen dan saat terdapat gas hidrogen. Dengan adanya gas hidrogen akan menurunkan energi potensial sehingga resistansi dari sistem akan menurun. Adapun sistematisa pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3. Merupakan sistematisa pengujian yang dilakukan dimana

pengukuran gas hidrogen berawal dari titik A. Volume gas yang diberikan dibatasi oleh sebuah balon agar diperoleh kadar konsentrasi gas hidrogen yang tinggi dalam waktu yang singkat. Kadar konsentrasi gas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengatur tekanan gas masuk melalui *valve regulator* pada titik B. Sensor ditempatkan di dalam sebuah balon dimana gas hidrogen perlahan akan dimasukkan ke dalam balon dengan memutar *valve regulator* untuk mendapatkan variasi peningkatan tekanan sehingga kadar konsentrasi gas hidrogen di dalam balon akan berbeda setiap waktu pengujian. Tekanan yang diberikan akan naik pada nilai maksimum 0.18 MPa

Pada setiap peningkatan tekanan gas akan dilakukan pengukuran terhadap tegangan output sensor berdasarkan sistem (V_o), resistansi sensor tanpa terdapat gas hidrogen (R_o) dan resistansi sensor pada saat terdapat gas hidrogen (R_s). Gambar 4. merupakan rangkaian ekivalen sensor dimana nilai tahanan R_L yang digunakan pada penelitian ini adalah 3,3 K . Hasil pengukuran tegangan output sensor berdasarkan sistem akan dibandingkan dengan *direct measurement* menggunakan multimeter pada titik V_{out} seperti pada Gambar 4 sebagai metode validasi pengukuran.



Gambar 4 Rangkaian ekivalen sensor yang dipergunakan pada penelitian ini dimana R_L pada sistem di tentukan sebesar 3,3 K

Pada Gambar 4. merupakan rangkaian *voltage divider* dimana perubahan resistansi sensor yang disebabkan oleh keberadaan gas hidrogen akan mempengaruhi tegangan output sensor (V_{out}).

Persamaan 1. digunakan untuk menghitung besarnya nilai tegangan output dari sensor.

$$V_{out} = \frac{R_L}{R_L + R_{Sensor}} \times V_{in} \quad (1)$$

Hasil dan Pembahasan

Pada Tabel 1 dan 2. menunjukkan hasil pengukuran pada dua kondisi temperatur ruangan yang berbeda, yakni 25.0°C dan 29.2°C dengan *relative humidity* (RH) 85% dan 75%. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada tekanan gas yang sama untuk menganalisa *repeatability hasil* data pengukuran.

Tabel 1 Data hasil pengujian V_o sensor pada temperatur 25.0°C dan tekanan 0.01 MPa (Gauge)

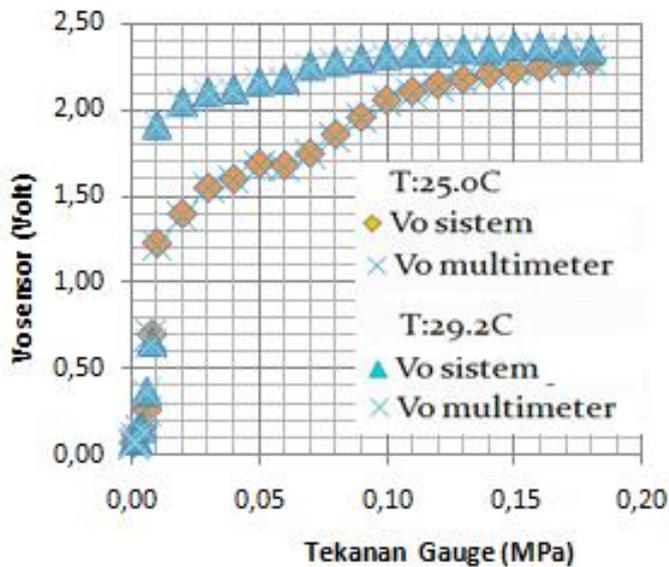
Pengujian (n)	Pembacaan Sensor (V)		Pembacaan Multimeter (V)	
	V_o tanpa H_2	V_o dengan H_2	V_o tanpa H_2	V_o dengan H_2
1	0.01	1.22	0.01	1.21
2	0.01	1.23	0.01	1.23
3	0.01	1.23	0.01	1.22

Tabel 2 Data pengujian V_o sensor pada temperatur 29.2°C dan tekanan 0,01 MPa (Gauge)

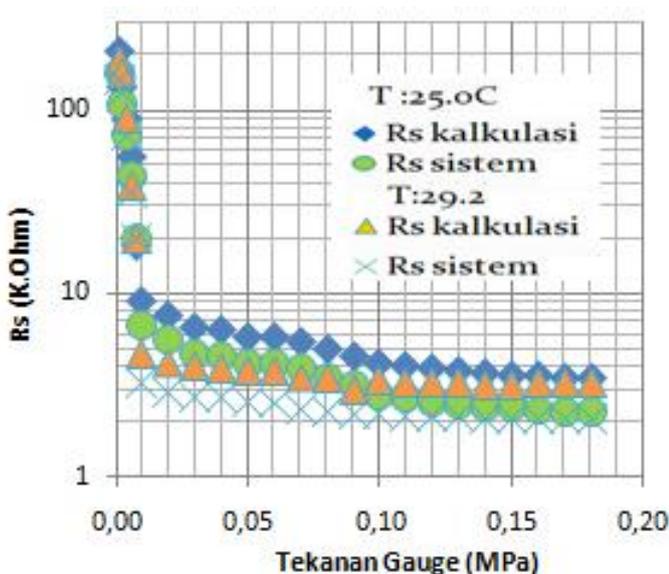
Pengujian (n)	Pembacaan Sensor (V)		Pembacaan Multimeter (V)	
	V_o sensor tanpa H_2	V_o sensor dengan H_2	V_o sensor tanpa H_2	V_o sensor dengan H_2
1	0.01	1.91	0.02	1.90
2	0.01	1.91	0.02	1.91
3	0.01	1.92	0.02	1.92

Proses pengujian tahap pertama dilakukan pada kondisi temperatur 25.0°C dengan *relative humidity* (RH) 85%. Proses pengujian kedua dilakukan pada kondisi temperatur 29.2°C dengan *relative humidity* (RH) 75%. Pada kondisi tidak terdapat gas target kedua pengujian diperoleh nilai tegangan V_o sensor yang sama berdasarkan sistem sensor senilai 0.01 Volt. Pada kondisi tidak terdapat gas target diperoleh nilai tegangan V_o sensor berdasarkan multimeter senilai 0.02 Volt ($T=29.2^\circ C$). Berdasarkan Tabel 1 dan 2 dapat disimpulkan bahwa terdapat hasil pengukuran tegangan V_o sensor yang

cukup bersesuaian antara pengukuran menggunakan sistem dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter secara langsung dimana diantaranya hanya terdapat selisih pengukuran tegangan senilai 0.01 Volt pada setiap pengukurannya. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya rangkaian paralel antara resistansi dalam (R_d) voltmeter dengan resistansi sensor pada saat pengukuran.



Gambar 5 Data hasil pengukuran V_o sensor terhadap tekanan



Gambar 6 Data hasil pengukuran resistansi sensor terhadap tekanan

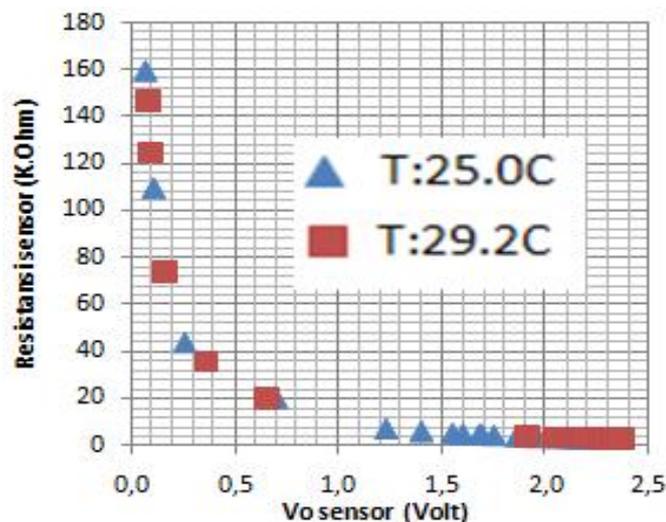
Gambar 5. merupakan perbandingan hasil pengukuran tegangan output rata-rata sensor

menggunakan multimeter dengan tegangan output yang dihasilkan berdasarkan system sensor terhadap peningkatan tekanan gas. Berdasarkan hasil pengukuran sistem saat tekanan 0.05 MPa dengan temperatur 25.0°C, tegangan V_o sensor terukur senilai 1.69 Volt. Pada tekanan yang sama saat temperatur 29.2°C, tegangan V_o sensor terukur senilai 2.16 Volt atau terdapat selisih sebesar 0.47 Volt. Pada tekanan 0.1 MPa terdapat selisih tegangan V_o sensor sebesar 0.26 Volt dan pada tekanan 0.15 MPa terdapat selisih tegangan sebesar 0.14 Volt. Perbedaan hasil pengukuran V_o sensor disebabkan oleh pengaruh temperatur pada saat dilakukan pengukuran. Sehingga dapat dinyatakan bahwa peningkatan temperatur pengukuran berbanding lurus terhadap peningkatan tegangan V_o sensor. Berdasarkan gambar dapat dijelaskan bahwa pada temperatur 25.0°C terdapat selisih pembacaan V_o sensor antara pengukuran menggunakan multimeter dan pengukuran berdasarkan sistem senilai 0.01 Volt dimana nilai standart deviasi rata-rata terhadap data pengukuran sistem adalah senilai 0.004 Volt dengan persentase error sebesar 0.0008%. Sedangkan hasil pengukuran V_o sensor pada temperatur 29.2°C diperoleh selisih hasil pengukuran yang sama seperti pada pengukuran pertama dimana nilai standart deviasi rata-rata terhadap data pengukuran sistem adalah senilai 0.01 Volt dengan persentase error sebesar 0.002%.

Pada hasil pengukuran resistansi awal sensor tanpa gas diperoleh nilai resistansi (R_o) sebesar 862,1 K . Perubahan nilai resistansi sensor (R_s) pada saat diberikan gas dijelaskan pada Gambar 6. Pengaruh temperatur pengukuran berlaku kebalikan terhadap perubahan resistansi sensor (R_s). Berdasarkan data hasil pengukuran pada Gambar 6 untuk tekanan 0.05 MPa dengan temperatur 25.0°C, resistansi sensor terukur senilai 4,10 K . Pada tekanan yang sama saat temperatur 29.2°C, resistansi sensor terukur senilai 2,55 K atau terdapat selisih sebesar 1,55 K . Pada tekanan 0.1 MPa terdapat selisih resistansi sensor sebesar 640 dan pada tekanan 0.15 MPa terdapat selisih resistansi sebesar 300 . Sehingga dapat dinyatakan bahwa peningkatan temperatur akan mengakibatkan penurunan resistansi sensor.

Menurut Suharni.dkk (2009), pengaruh temperatur terhadap konduktivitas kristal semikonduktor oksida logam ditimbulkan oleh kehadiran *defect* (cacat) titik. Ketika temperatur ditingkatkan, maka *defect* akan terionisasi dengan

menghasilkan elektron bebas. *Defect* tersebut akan membentuk level donor sedikit di bawah pita konduksi yang ketika diberikan pengaruh eksternal misalnya dengan peningkatan temperatur dan energinya melebihi energi gap, maka pada level donor dapat tereksitasi dan naik ke dalam pita konduksi. Ketika *defect* terionisasi, maka konduktivitas kristal semikonduktor oksida logam akan muncul dengan elektron sebagai pembawa muatan. Peningkatan konduktivitas (resistansi turun) bahan SnO₂ sebanding dengan kenaikan temperatur. Berdasarkan data hasil pengukuran pada Gambar 6 diperoleh nilai standart deviasi rata-rata terhadap data pengukuran pada temperatur 25.0°C senilai 0.4 K dengan persentase error sebesar 0.08%. Deviasi tertinggi mengakibatkan terdapat penyimpangan terbesar terhadap pembacaan resistansi sensor berdasarkan sistem dengan hasil kalkulasi senilai 39.2 K dan 31.0 K. Nilai standart deviasi rata-rata terhadap data pengukuran pada temperatur 29.2°C senilai 0.1 K dengan persentase error sebesar 0.03%. Deviasi tertinggi mengakibatkan terdapat penyimpangan terbesar terhadap pembacaan resistansi sensor berdasarkan sistem dengan hasil kalkulasi senilai 25.17 K dan 11.6 K. Penyimpangan pembacaan tersebut terjadi pada saat sensor diberikan tekanan gas sebesar <0.01 MPa.



Gambar 7. Perbandingan R_s dengan V_o sensor

Berdasarkan Gambar 7. dapat dinyatakan bahwa terdapat hubungan terbalik antara resistansi sensor dengan perubahan tegangan output sensor ketika diberikan gas pada sensor. Data hasil pengukuran pada Gambar 7 diperoleh berdasarkan peningkatan

tekanan gas hidrogen yang diberikan pada sensor dalam sebuah balon. Sehingga dapat dinyatakan hubungan antara peningkatan tekanan gas yang diberikan pada sensor akan berbanding lurus dengan peningkatan V_o sensor yang ditampilkan oleh sistem sedangkan resistansi sensor akan semakin menurun pada saat tekanan gas semakin banyak (Hasibuan, 2016).

Kesimpulan

Pada pengujian V_o sensor berbanding lurus terhadap peningkatan tekanan gas. Hal ini dapat ditentukan berdasarkan peningkatan V_o sensor dalam range 0.07-2.29 V. Pada pengujian resistansi sensor (R_s) berbanding terbalik terhadap peningkatan tekanan dimana resistansi sensor semakin menurun dalam range 159,23 K -2,05 K.

Referensi

- Ahmad Arif Hasibuan, 2016, "Sistem Instrumentasi Pengukuran Kadar Konsentrasi Kebocoran Gas Hidrogen", Skripsi Sarjana Jurusan Fisika FMIPA Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Barsan, N., Schweizer-Berberich, M., Gopel, W. 1999. "Fundamentals and practical aspects in the design of nanoscale SnO₂ gas sensors" a status report, Fresenius J. Anal. Chem. (365) 287-304.
- Koroneos, C., Dompros, A., and Moussiopoulou, N. 2004. "Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes". Int. J. Hydrogen Energy. pp. 1443-1450.
- Molkov, V. 2012. "Fundamentals of hydrogen safety engineering", Part I. ISBN 978-87-403-0279-0
- Miller, T.A., Bakrania, S.D., Perez, C., Wooldridge, M.S., 2006, "Nanostructure tin dioxide materials for gas sensor applications". Functional Nanomaterials (Eds : K.E. Geckeler and E. Rosenberg.) America Scientific Publisher, Valencia.
- Taguchi, N. 1971. Japanese Patent. 47-38840.
- Soundarajan, P. dan Schweighardt, F. 2008. "Hydrogen sensing and detection". Taylor & Francis Group, LLC.
- Suharni dan Sayono. 2009. Buku I Prosiding PPI-PDIPTN. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN. Yogyakarta. ISSN 0216-3128