

Perancangan Sensor Gas Hidrogen Berbasis Metal Oxide Semikonduktor (MOS)

Design of Hydrogen Gas Sensor based on Metal Oxide Semiconductor (MOS)

Ahmad Arif Hasibuan^{*1}, Elin Yusibani^{2,3} dan M. Syukri Surbakti³

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

^{2,3}Jurusan 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 Oktober, 2016, Accepted January, 2017

Sebuah perancangan sensor untuk mendeteksi kebocoran gas hidrogen pada saluran pipa tertutup telah berhasil dilakukan. Sensor yang digunakan berbasis bahan semikonduktor berbasis metal oksida. Sistem yang dirancang adalah dengan membandingkan nilai resistansi awal sensor tanpa gas hidrogen (R_o) dengan resistansi pada saat terdapat gas hidrogen (R_s). Nilai perbandingan tersebut akan dikonversi untuk menentukan kadar konsentrasi gas dalam skala ppm menggunakan persamaan yang diperoleh berdasarkan datasheet sensor yang telah diberikan. Pada saat kebocoran gas betekanan rendah, yakni pada konsentrasi (ppm) rendah, diperoleh waktu respon sensor bernilai 300 s sedangkan pada kondisi gas betekanan tinggi, yakni pada konsentrasi tinggi, diperoleh nilai kurang dari 150 s. Akurasi pengukuran resistansi didapatkan masih berada dalam jangkauan karakteristik sensor.

Design of hydrogen gas sensor to detect hydrogen gas leakage in the pipe has been done. The sensor is based on metal oxide semiconductor. The typical working system of the semiconductor sensor is based on comparison of the resistance in the system, i.e. resistance without hydrogen gas (R_o) and with hydrogen gas (R_s). The gas concentration (ppm) is determined by using an equation derived from the datasheet given. The response time for low concentration is 300 sec and less than 150 sec for high concentration. Furthermore, the measurement accuracy of resistance is still on the range of the characteristics refer to the sensor.

Keywords: Gas, Hidrogen, waktu Respon, Sensor, semikonduktor

Pendahuluan

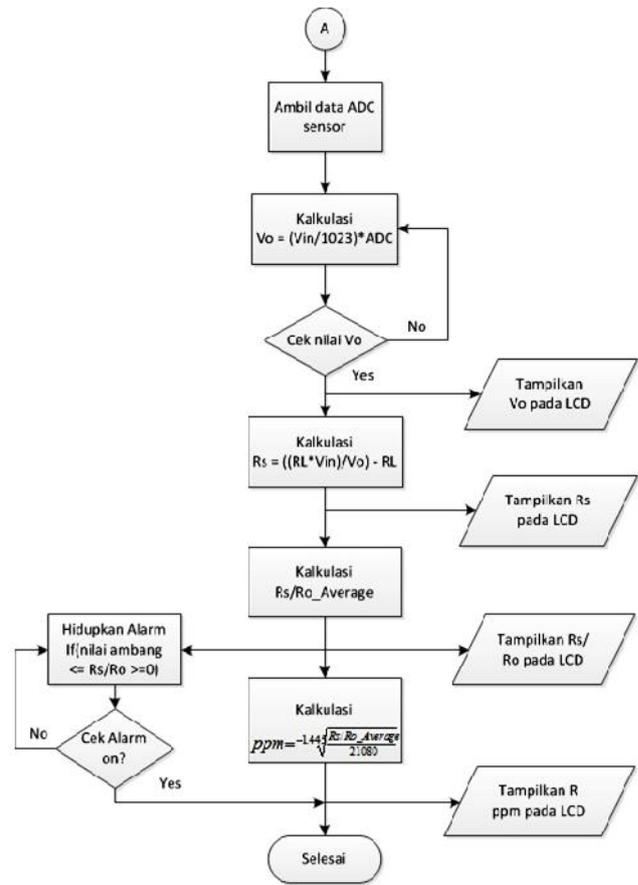
Naiknya temperatur dapat meningkatkan kemampuan hidrogen untuk terbakar di udara yang diakibatkan oleh keberadaan oksigen. Batas kemampuan terendah gas hydrogen dapat terbakar, *Lower Flammability Limit* (LFL), fungsi temperatur dan tekanan ambang dapat dihitung menggunakan sebuah persamaan. Dengan panas pembakaran terendah yaitu sebesar 241 kJ/mol untuk hidrogen pada *boiling point*, maka LFL dihitung sebesar 7.7% (Vervondern, 2008). Batas kemampuan tertinggi gas hidrogen dapat terbakar, *Upper Flammability Limit* (UFL), berada dalam rentang temperatur 150-300 K (Eichert, 1992). Gas hidrogen dapat terbakar pada temperatur 300 K hingga 700 K dengan komposisi 4% sampai 75% gas hidrogen di udara. Dengan

demikian keberadaan gas hidrogen meskipun dalam jumlah yang sedikit dapat sangat membahayakan sehingga keberadaan sebuah sensor gas hidrogen menjadi sangat penting. Menurut Soundarrajan dan Schweighardt (2008), pada prinsipnya terdapat empat parameter fungsi dalam pengukuran hidrogen menggunakan sebuah sensor yaitu *performance*, *lifetime*, *reliability* dan *cost*. Pada saat ini terdapat beberapa teknologi sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas hidrogen sekaligus mengukur kadar konsentrasinya, salah satunya adalah sensor berbasis *Metal Oxide Semiconductor (MOS)*. Hasil pengujian sensor berbasis MOS terhadap output tegangan dan resistor telah dilakukan sebelumnya dan didapatkan bahwa terdapat perubahan nilai tegangan output sensor dan

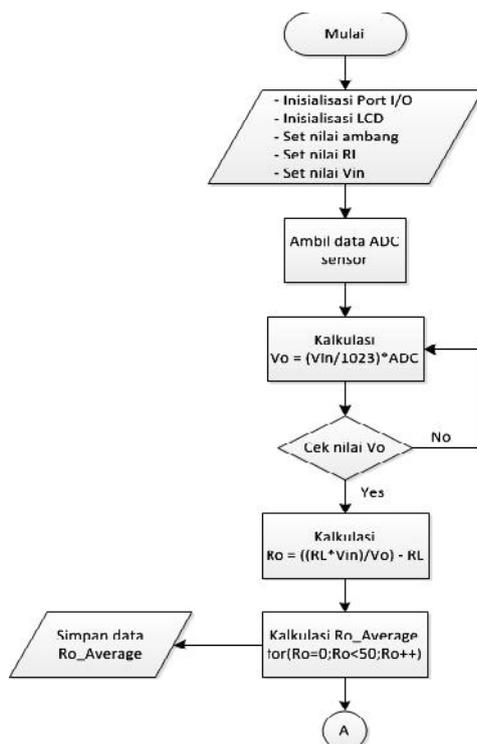
nilai resistansi pada setiap variasi tekanan gas hidrogen yang diberikan terhadap sensor (Hasibuan, 2016). Berdasarkan hasil pengujian tersebut dilakukan penelitian lanjutan untuk melihat waktu respon sensor terhadap pengaruh variasi tekanan gas dan sekaligus mengukur kadar konsentrasi gas yang akan terbaca pada sensor sehingga dapat bermanfaat untuk pengembangan sistem pendeteksian dini dan pengukuran kadar konsentrasi kebocoran gas hidrogen yang akurat dan ekonomis.

Metodologi

Sistem instrumentasi yang digunakan pada penelitian ini sama seperti pada penelitian sebelumnya (Hasibuan, 2016). Resistansi sensor tanpa gas hidrogen (R_o) dan resistansi sensor pada saat terdapat gas hidrogen (R_s) akan diukur kemudian perbandingan antara nilai R_s/R_o akan digunakan untuk menentukan kadar konsentrasi gas hidrogen di udara dalam satuan *part per million* (ppm). Pada dasarnya perubahan nilai resistansi yang terjadi pada sensor akibat perubahan tekanan gas akan menghasilkan perubahan nilai tegangan output sensor yang kemudian dikonversi kedalam data digital oleh mikrokontroler dan diproses sesuai algoritma bahasa pemrograman yang telah dirancang sehingga diperoleh nilai kadar konsentrasi gas. Gambar 1 menjelaskan algoritma pemrograman yang telah dirancang menggunakan bahasa pemrograman C.



Gambar 1 Algoritma pemrograman sistem



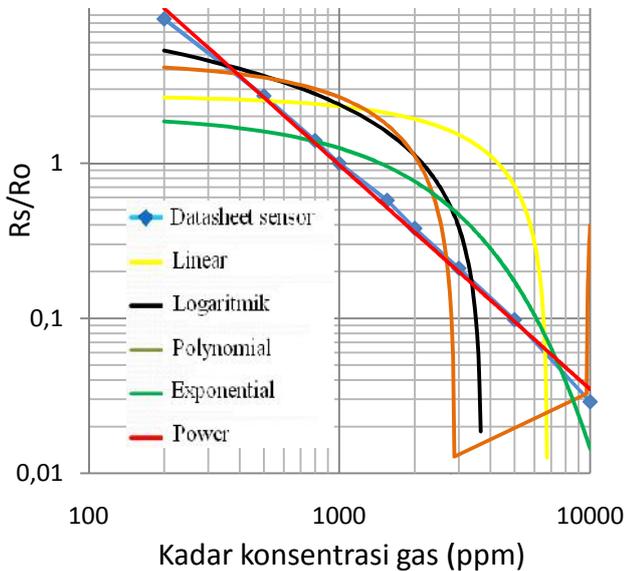
Berdasarkan Gambar 1 algoritma pemrograman dimulai dari inisialisasi *port* yang digunakan, kalkulasi nilai resistansi sensor, setting nilai ambang untuk menghidupkan alarm dan perintah menampilkan data. Gambar 2 merupakan grafik yang dibuat berdasarkan *datasheet* sensor yang diplot kembali untuk mendapatkan hubungan antara resistansi dan kadar konsentrasi dari hidrogen yang diperoleh menggunakan aplikasi Ms.Excel. Persamaan matematik berdasarkan data dari *datasheet* sensor dapat diperoleh berdasarkan beberapa pendekatan secara logaritmik, eksponensial, linear, polynomial dan power. Berdasarkan beberapa persamaan tersebut terlihat bahwa persamaan power memiliki trend yang bersesuaian dengan *datasheet* sensor. Persamaan (1) merupakan persamaan power yang digunakan sebagai acuan kalkulasi nilai kadar konsentrasi gas yang terukur dalam satuan ppm.

$$y = 21.080.(x^{-1.445}) \tag{1}$$

Dimana x adalah kadar konsentrasi gas dalam ppm dan y adalah perbandingan resistansi R_s/R_o . Pada tahapan akhir dilakukan pembuatan *sketch* bahasa

pemrograman pada Aplikasi Arduino IDE. Adapun sistematika pengujian sistem dilakukan seperti yang telah dilakukan sebelumnya (Hasibuan, 2016).

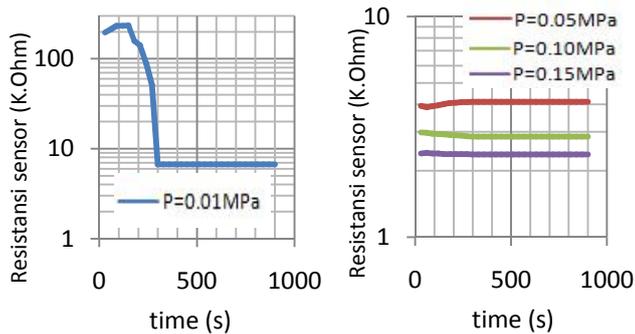
Pada tekanan(Gauge) sebesar 0.05 MPa, hambatan sensor stabil pada nilai R_s sebesar 4,1 K dan pada tekanan (Gauge) sebesar 0.10 MPa dengan nilai R_s sebesar 2,8 K dalam waktu yang sama yakni sebesar 300 s. Pada tekanan (Gauge) sebesar 0.15 MPa, hambatan sensor stabil dengan nilai R_s sebesar 2,3 K dalam waktu 125s.



Gambar 2 Perbandingan datasheet sensor terhadap *trendline*

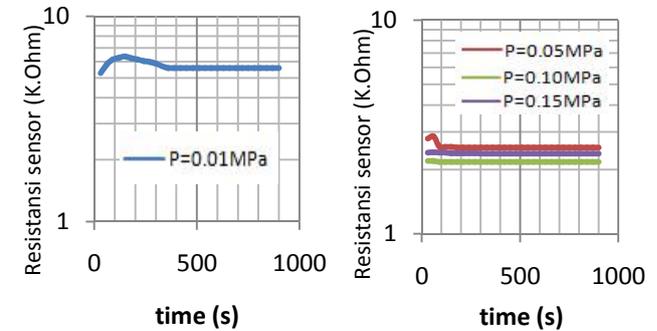
Hasil dan Pembahasan

Response Time didefinisikan sebagai waktu minimal yang dibutuhkan sensor untuk merespon keberadaan gas yang diterima berdasarkan perubahan nilai resistansi yang stabil. Data hasil pengujian *response time* sensor saat kondisi temperatur 25.0 °C terhadap perubahan tekanan tampak pada Gambar 3.



Gambar 3 *Response time* sensor pada T 25.0 °C

Berdasarkan Gambar 3 menjelaskan *response time* sensor pada tekanan (Gauge) sebesar 0.01MPa. Hambatan sensor berada pada kondisi stabil dengan nilai R_s sebesar 6,7 K dalam waktu 300s. Terdapat fluktuasi resistansi yang cukup tinggi disebabkan oleh keberadaan gas dalam sistem uji yang belum memenuhi volume ruang pengujian secara optimal.



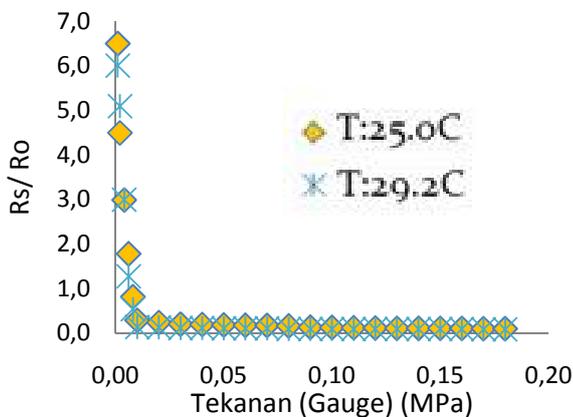
Gambar 4 *Response time* sensor pada T 29.2°C

Data hasil pengujian *response time* sensor pada temperatur 29.2 °C tampak pada Gambar 4. Pada tekanan (Gauge) sebesar 0.01 MPa, hambatan sensor stabil dengan nilai R_s sebesar 5,5 K dalam waktu 360 s. Pada tekanan (Gauge) sebesar 0.05 MPa, hambatan sensor stabil pada R_s sebesar 2,5 K dalam waktu 180 s. Pada tekanan (Gauge) 0.10 MPa, nilai R_s sebesar 2,1 K dalam waktu 90 s. Pada tekanan (Gauge) sebesar 0.15 MPa, nilai R_s sebesar 2,0 K dalam waktu 30s. Berdasarkan hasil pengujian *response time* yang telah dilakukan dapat dinyatakan bahwa sensor akan mencapai kestabilan pembacaan hambatan pada waktu diatas 300 s. Kondisi waktu tersebut selanjutnya menjadi acuan waktu standar yang digunakan untuk pembacaan pengukuran selanjutnya. Dapat disimpulkan juga bahwa sensor akan mencapai kestabilan pembacaan dalam waktu yang lebih cepat pada saat diberikan gas dengan tekanan yang lebih tinggi.

Hasil pengamatan pengujian *response time* sensor pada Gambar 3 dan 4, diperoleh perbedaan waktu kestabilan pembacaan sensor yang cukup signifikan dikarenakan perbedaan suhu pada saat pengukuran. Terdapat nilai temperatur yang menghasilkan temperatur operasi kerja sensor sehingga sensor akan bekerja secara optimal. Berdasarkan hasil diatas didapatkan bahwa pada temperatur 29.0 °C perubahan resistansi sensor terhadap peningkatan tekanan gas yang mulai stabil pada range tekanan 0.15-0.25 MPa dengan

perbedaan selisih resistansi rata-rata senilai 230 . Sedangkan pada temperatur 25.0 °C, resistansi sensor pada tekanan 0.15-0.25 MPa berubah dengan perbedaan selisih resistansi rata-rata sebesar 870 . Menurut Gaskov dan Rummyantseva (1999), semakin tinggi temperatur maka resistansi sensor akan cenderung menurun dan mulai stabil pada kondisi temperatur tertentu dimana kondisi temperatur tersebut dikenal sebagai temperatur operasi sensor.

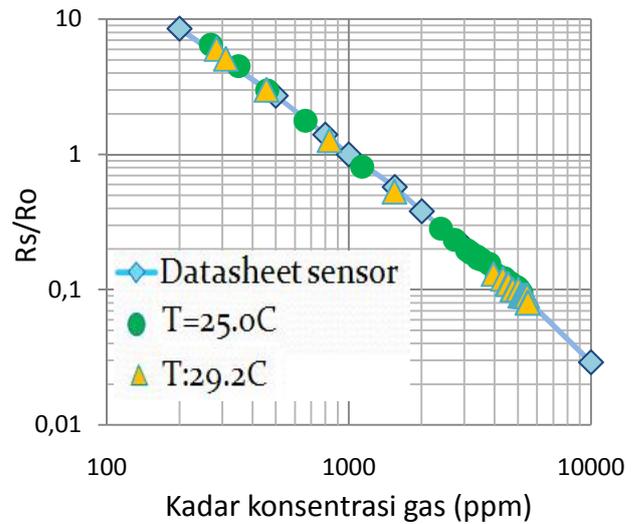
Pengujian kadar konsentrasi gas hidrogen terhadap variasi tekanan sebagai tujuan utama pada penelitian ini dilakukan di Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda Banda Aceh. Peningkatan tekanan gas berbanding terbalik terhadap nilai perbandingan R_s/R_o . Semakin kecil tekanan menghasilkan nilai rasio yang besar, begitu sebaliknya. Gambar 5 menunjukkan pengukuran nilai R_s/R_o terhadap peningkatan tekanan gas. Perolehan nilai resistansi R_s/R_o tersebut kemudian nantinya akan dikonversikan dengan menggunakan Persamaan (1) untuk mendapatkan nilai kadar konsentrasi gas yang terukur pada saat pengujian.



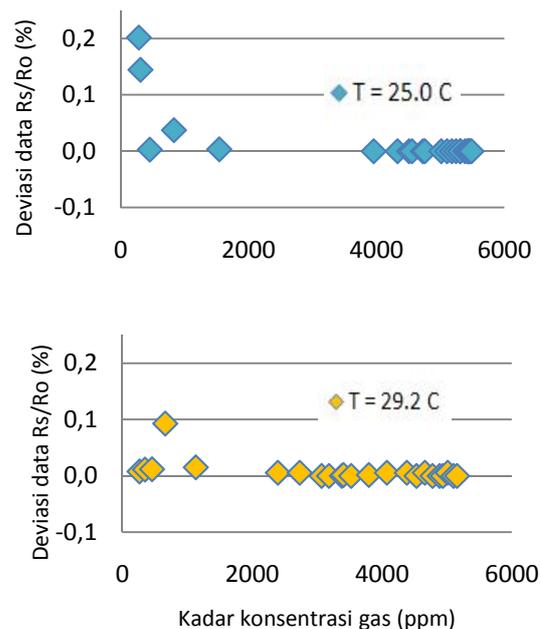
Gambar 5 Data pengukuran nilai R_s/R_o terhadap peningkatan tekanan gas

Gambar 6 merupakan hasil pengukuran kadar konsentrasi gas pada temperatur yang berbeda. Peningkatan tekanan gas berbanding lurus terhadap pembacaan kadar konsentrasi gas, dimana pada saat tekanan gas dinaikkan maka nilai kadar konsentrasi gas juga akan meningkat. Diperoleh data hasil pengukuran kadar konsentrasi gas berkisar antara 200 hingga 5000 ppm. Pengambilan data pada temperatur pengukuran 25.0 °C dan 29.2 °C dihentikan karena sistem uji telah mencapai batas tekanan maksimal yaitu pada tekanan 0.28 MPa. Gambar 7 merupakan deviasi pengukuran pada

sistem yang telah dirancang dibandingkan dengan data yang diberikan oleh *datasheet* sensor.



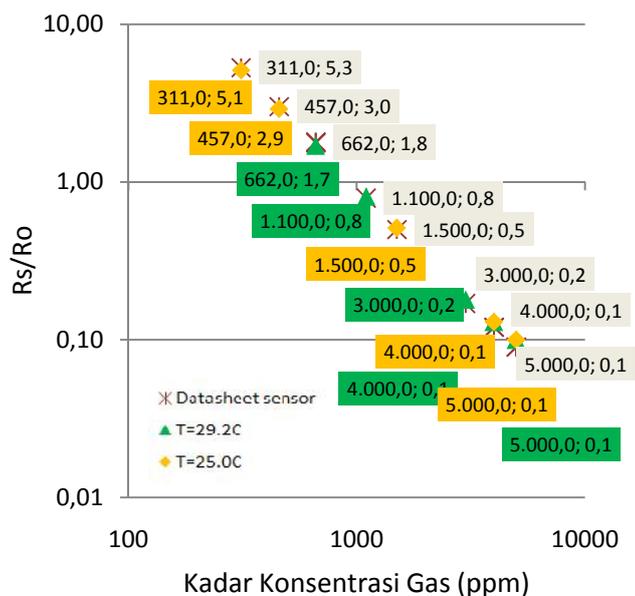
Gambar 6 Perbandingan grafik datasheet sensor terhadap data pengukuran



Gambar 7 Deviasi data pengukuran R_s/R_o terhadap datasheet

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Gambar 7 diperoleh nilai standart deviasi rata-rata terhadap semua data pengukuran R_s/R_o pada temperatur 25.0 °C senilai 16.9 dengan persentase error maksimum sebesar 0.2 %. Sedangkan nilai standart deviasi rata-rata terhadap semua data pengukuran R_s/R_o pada temperatur 29.2 °C senilai 7.7 dengan persentase error 0.1%. Pada saat temperatur 25.0 °C, deviasi tertinggi berada pada nilai R_s/R_o senilai 5.1 terdapat pembacaan kadar konsentrasi sebesar

311 ppm dengan nilai deviasi pengukuran sebesar 0.14 % atau terdapat selisih pembacaan R_s/R_o senilai -0.19 dibandingkan dengan nilai R_s/R_o berdasarkan datasheet. Pada nilai R_s/R_o senilai 2.9 terdapat pembacaan kadar konsentrasi sebesar 457 ppm dengan nilai deviasi pengukuran sebesar 0.003 % atau terdapat selisih pembacaan R_s/R_o senilai -0.03 dibandingkan dengan nilai R_s/R_o berdasarkan datasheet. Pada data pengukuran selanjutnya terdapat nilai deviasi yang masih terdapat dalam batas toleransi. Pada pengukuran saat temperatur 29.2 °C, deviasi tertinggi berada pada nilai R_s/R_o senilai 1.7 terdapat pembacaan kadar konsentrasi sebesar 662 ppm dengan nilai deviasi pengukuran sebesar 0.1 % atau terdapat selisih pembacaan R_s/R_o senilai 0.01 dibandingkan dengan nilai R_s/R_o berdasarkan datasheet. Pada data pengukuran selanjutnya terdapat nilai deviasi yang masih terdapat dalam batas toleransi.



Gambar 8 Pengukuran R_s/R_o sistem terhadap datasheet sensor

Gambar 8 menunjukkan perbandingan pembacaan sistem terhadap datasheet sensor berdasarkan perolehan nilai deviasi tertinggi data pengukuran R_s/R_o . Berdasarkan perolehan nilai deviasi masing-masing pengukuran pada temperatur berbeda dapat dinyatakan bahwa pembacaan kadar konsentrasi gas oleh sistem akan lebih akurat pada tekanan gas yang tinggi. Nilai deviasi tertinggi terjadi akibat tekanan gas yang masuk pada sistem uji sangat kecil dan tidak dapat memenuhi volume ruang uji secara optimal sehingga pembacaan sensor menjadi

kurang akurat. Namun nilai deviasi yang terdapat pada pengukuran resistansi sensor masih dalam batas toleransi karena berdasarkan data hasil pengukuran sistem menunjukkan bahwa pada kadar konsentrasi gas terukur 1134 ppm nilai resistansi sensor yang diperoleh adalah 20 K . Jika dibandingkan dengan data karakteristik sensitivitas sensor pada datasheet menyatakan bahwa nilai resistansi sensor pada kadar konsentrasi gas 1000 ppm berkisar antara 10-60 K . Sehingga nilai resistansi yang diperoleh berdasarkan pengukuran sistem yang dirancang masih berada dalam range karakteristik resistansi (R_s) dan mengacu pada datasheet sensor.

Kesimpulan

Telah berhasil dirancang sebuah sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi kadar konsentrasi gas hidrogen dalam ppm berbasis semikonduktor metal oksida. Perancangan sensor ini dapat mendeteksi kadar konsentrasi gas hidrogen dari 200 sampai 5000 ppm. Namun di dalam perancangan sensor ini, sistem tidak dapat membedakan pengaruh oleh gas lainnya selain hidrogen. Untuk hasil pendeteksian gas hidrogen yang lebih akurat dan dapat terhindar dari pengaruh gas non hidrogen maka dapat menggunakan sensor berdasarkan sifat fisis gas target. Diperlukan kalibrasi menggunakan sensor yang standar guna penyempurnaan sistem yang telah dirancang.

Referensi

- Eichert, H. 1992. "Hazardous potential in case of increased use of hydrogen", Research Institute for Aeronautics and Astronautics, Stuttgart, German.
- Gaskov, A.M and Rummyantseva, M.N.1999 Material for solid-state gas sensors 36 369.
- Hasibuan, A.A, Yusibani, E dan Surbakti, M.S, 2016, "Studi Pengaruh Konsentrasi Kadar Gas Hidrogen Terhadap Tegangan dan Resistansi menggunakan Sensor Gas Hidrogen Berbasis Semikonduktor", Journal of Aceh Physics Society, Vol 5 No. 1 pp. 17-21, 2016
- Soundarajan, P. dan Schweighardt, F. 2008. "Hydrogen sensing and detection". Taylor & Francis Group, LLC.
- Vervondern, K. 2008. "Nuclear Energy for Hydrogen Production", Forschungszentrum Jülich GmbH, Volume 58, Jerman