

Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis Array Sensor Gas

Hafiizh Ashshiddiqi Prabowo Jati*¹, Danang Lelono²

¹ Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, JIKE, FMIPA, UGM, Yogyakarta

² Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: *¹hafiizhapj@gmail.com, ²danang@ugm.ac.id

Abstrak

Keterbatasan indera penciuman manusia dalam mendeteksi keberadaan gas-gas polutan dapat membahayakan kesehatan. Telah dibuat sebuah alat deteksi dan monitoring polusi udara berbasis array sensor gas. Tingkat keakuratan hasil pengukuran ditingkatkan menggunakan beberapa sensor dengan kemampuan mendeteksi beberapa gas polutan yang sama.

Perangkat dibuat menggunakan sebuah array sensor gas yang terdiri delapan sensor, perangkat board Arduino berbasis mikrokontroler ATmega 2560, dan layar LCD sebagai penampil. Program yang diimplementasikan dalam mikrokontroler ditulis menggunakan aplikasi Arduino IDE 1.0 dan peralatan dikalibrasi menggunakan udara bebas bersih. Dalam pengujiannya, peralatan digunakan untuk mengukur berbagai sampel gas polutan dan gas polutan di lima jalan raya di Yogyakarta yang padat dengan lalu-lintas kendaraan bermotor.

Beberapa sensor yang digunakan untuk mengukur gas hidrogen dapat menunjukkan kedekatan hasil pengukuran sebesar 0,09 ppm, gas butana sebesar 0,33 ppm, gas CO sebesar 0,4 ppm, dan gas H₂S serta etanol sebesar 0,03 ppm. Sensor TGS 6812 hanya peka terhadap gas berkonsentrasi tinggi sedangkan sensor TGS 2602 mempunyai sensitivitas yang buruk terhadap gas hidrogen. Pengujian menggunakan sampel gas polutan menghasilkan hasil yang baik ketika konsentrasi gas tidak melebihi range kemampuan deteksi sensor. Pengukuran konsentrasi gas polutan di jalan raya menunjukkan konsentrasi rata-rata gas butana sebesar 10,99 ppm sudah melewati batas aman.

Kata kunci—polusi udara, array sensor gas, jalan raya, kedekatan hasil pengukuran

Abstract

Limitation of human smelling sense in detecting the presence of air pollutants can cause health issue. By using gas sensor array, an air pollution detector and monitoring device has been made. The accuracy of the measurement is improved by using some gas sensors to detect one type of pollutant gas.

The device is build using an array consist of nine gas sensors, an Arduino Mega 2560 board, and a LCD display. The program is written and compiled using Arduino IDE 1.0. The device is calibrated in free clean air, tested using several pollutant gas samples, and used to measure pollutants concentration in five major streets in Yogyakarta which have heavy traffic.

Measurement result closeness from sensors for hydrogen, butane, CO, H₂S, and ethanol is as close as 0.09 ppm, 0.33 ppm, 0.4 ppm, and 0.03 ppm respectively. TGS 6812 gas sensor is suitable for detecting high concentration gases. TGS 2602 has a bad respond in detecting hydrogen gas. When tested using pollutant gas samples, the device was able to give good results as long as the concentration measured is within the sensors detection range. The average concentration of butane gas in five major streets is above the safety limit.

Keywords— air pollution, gas sensor array, street, measurement result closeness

1. PENDAHULUAN

Udara bersih merupakan salah satu hal yang sangat mendukung kesehatan manusia. Tempat tinggal dengan udara yang bersih akan menghindarkan manusia dari berbagai macam penyakit gangguan pernafasan. Saat seseorang baru saja berpindah tempat ke lingkungan yang baru, orang tersebut akan menghadapi kondisi udara yang berbeda. Manusia yang tinggal di tempat tersebut terkadang tidak bisa secara langsung mendeteksi adanya gas-gas polutan yang dapat membahayakan kesehatan ataupun keselamatan karena tidak semua gas polutan dapat tercium oleh indera penciuman manusia. Untuk dapat mengetahui kondisi ataupun tingkat kebersihan udara dari gas-gas polutan yang membahayakan manusia dibutuhkan suatu alat khusus yang mampu mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas polutan di lingkungan tersebut. Dengan tingkat kemajuan teknologi yang berkembang pesat di bidang teknologi sensor, elektronika, dan komputer dapat dibuat sebuah alat pendeteksi polutan udara berupa alat yang mampu melakukan deteksi dan monitoring polusi udara yang berbasis *array* sensor gas metal oksida. Sensor metal oksida adalah sensor gas dengan harga yang sangat terjangkau dan memiliki sensitivitas yang cukup baik pada beberapa jenis gas sekaligus. Larik (*array*) sensor gas berfungsi sebagai perangkat yang melakukan pendeteksian gas-gas polutan sedangkan perangkat mikrokontroler berfungsi sebagai pengolah data yang berupa besar tegangan keluaran setiap sensor saat terpapar ke gas polutan tertentu. Sensor-sensor dengan kemampuan mendeteksi gas-gas yang sejenis pada larik sensor dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi pendeteksian. Pada perangkat mikrokontroler yang sudah di-*install* program untuk menjalankan algoritma deteksi dan pengukuran tingkat polutan, akan dilakukan analisis mengenai jenis polutan dan tingkat konsentrasinya. Hasil analisis ini kemudian ditampilkan pada layar LCD sehingga pengguna dapat langsung membaca hasil pengukuran polutan di tempat tersebut.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai pendeteksian gas-gas polutan di antaranya dilakukan oleh Zampolli dkk. yang membuat *e-nose* sederhana yang digunakan untuk melakukan deteksi gas CO dan NO₂ di udara. Penelitian ini menggunakan sensor metal oksida untuk mendeteksi 12 macam gas polutan penyebab penyakit pernapasan. Gas-gas tersebut adalah aldehyd, ozon, NO₂, CO₂, radon, CO, belerang (II) dioksida, formaldehyd, *volatile organic compounds* (VOC), uap air, timah, dan beberapa zat lain. Pemrosesan dilakukan menggunakan logika *fuzzy*. Peralatan mampu melakukan deteksi gas CO sampai pada konsentrasi 5 ppm dan NO₂ sampai pada konsentrasi 20 ppb [1].

Wicaksono dan Suismono membuat sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi gas CO, CO₂, dan NO_x. Peralatan yang dibuat menggunakan sensor TGS 2201 dan TGS 4161 sebagai detektor gas, mikrokontroler AT89S51 yang diprogram menggunakan *assembly* sebagai pengolah sinyal, dan *dot matrix* sebagai penampil nilai konsentrasi. Peralatan dilengkapi dengan *light emitting diode* (LED) merah yang menyala ketika konsentrasi gas yang terdeteksi melebihi ambang batas. Sensor yang digunakan mampu mendeteksi gas CO sampai konsentrasi 300 ppm, gas CO₂ sampai 10.000 ppm, dan gas NO_x sampai 1 ppm [2].

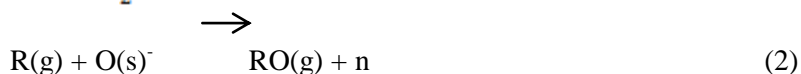
Dalam penelitian yang dilakukan oleh Di Lecce dkk. digunakan larik (*array*) sensor metal oksida yang memiliki sensitivitas yang hampir sama untuk melakukan proses pembedaan jenis *volatile organic compound* (VOC) dalam sampel. Sensor yang digunakan adalah TGS 4161 untuk mendeteksi gas CO₂, TGS 2201 untuk mendeteksi asap kendaraan, TGS 2444 dan MQ137 untuk mendeteksi gas NH₃, TGS 2620 untuk mendeteksi uap larutan jenis alkohol, TGS 2602 untuk mendeteksi gas polutan umum, MQ3 untuk mendeteksi uap alkohol, dan MQ135 untuk mendeteksi gas NH₃, sulfida, dan benzena. Penelitian difokuskan pada pengatasan disambiguitas interpretasi dari sensor-sensor yang memiliki selektivitas yang rendah dengan menggunakan teknik komputasi yang meliputi metode klasifikasi dan logika *fuzzy*. Prinsip utama pengukuran adalah pada saat ada suatu gas terdeteksi oleh beberapa sensor dengan kemampuan mendeteksi gas tersebut maka hasil pengukuran dari sensor-sensor tersebut akan tidak berbeda jauh. Tingkat akurasi hasil pengukuran akan dipengaruhi oleh jumlah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gas-gas tersebut [3].

Swandanu dalam penelitiannya yang berjudul “Sistem Pemantauan Kondisi Udara dengan Transmisi Radio Frekuensi” berhasil membuat sebuah alat untuk mengukur kadar gas karbon monoksida dan karbon dioksida di udara bebas menggunakan sensor gas TGS 2620 dan TGS 4161. Alat tersebut juga dilengkapi dengan modul SHT 11 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATmega 8535 dan perangkat pengiriman menggunakan modul RF YS-1020 YB yang dalam penggunaannya mampu mengirimkan data secara *wireless* sejauh 200 meter. Penulis menggunakan sebuah layar LCD 16x2 sebagai penampil di dalam sistem tersebut. Sebagai penampil hasil pembacaan sensor di komputer penulis membuat aplikasi menggunakan aplikasi Visual Basic 2008. Pengujian sistem dilakukan di udara bebas di jalan raya di lima lokasi di sekitar kota Yogyakarta yang padat lalu lintas kendaraan bermotor pada malam dan siang hari. Hasil pengambilan data menunjukkan bahwa kadar gas CO₂ rata-rata di lima tempat tersebut lebih tinggi pada malam hari dibandingkan pada saat siang hari, sedangkan untuk gas CO konsentrasi gas jauh lebih tinggi pada saat siang hari dibandingkan dengan malam hari [4].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sensor gas metal oksida

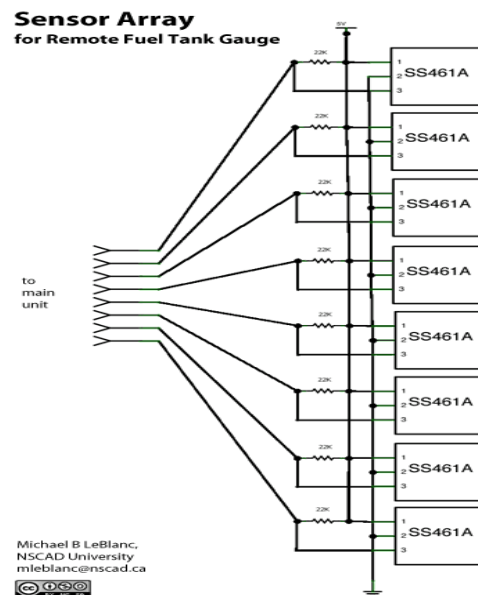
Sensor metal oksida timah oksida (SnO₂) adalah sebuah semikonduktor. Mekanisme kinerja sensor terhadap gas dapat ditunjukkan sesuai pada persamaan 1 dan 2.



Simbol n menunjukkan area konduksi semikonduktor, sedangkan s dan g menunjukkan permukaan dan gas. Persamaan 1 menunjukkan bahwa oksigen secara kimia fisis teradsorpsi ke kisi-kisi ruangan yang ada di semikonduktor sehingga menyebabkan konduktivitasnya menjadi rendah saat kondisi udara bebas dari gas kontaminan. Elektron yang dihasilkan oleh reaksi dengan gas-gas yang dapat terbakar R(g) pada persamaan 2 menyebabkan peningkatan konduktivitas sensor pada saat sensor terpapar gas polutan. Untuk meningkatkan sensitivitas sensor ditambahkan sedikit logam katalis pada sensor [5]. Dengan memanfaatkan karakteristik dari masing-masing sensor saat mendeteksi gas polutan dapat dibuat alat yang otomatis menghitung kadar gas polutan tersebut.

2.2 Larik (array) Sensor Gas

Secara umum, sebuah larik (*array*) dapat diartikan sebagai beberapa benda yang disusun menurut aturan tertentu. Dalam pembahasan *sensor array*, maka benda di sini adalah sensor-sensor gas. Sebuah *array* sensor dapat diartikan sebagai kumpulan sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai bahan yang sedang dites. Dalam aplikasi yang melibatkan zat kimia, sensor-sensor ini terdiri dari sensor-sensor yang berbeda dengan sensitivitas yang berbeda-beda pula. Larik sensor gas dipakai untuk mengonversi informasi kimia yang terdapat pada gas sampel menjadi sinyal-sinyal yang dapat terukur. Sensor-sensor tersebut diakses secara individual dan secara hampir bersamaan pada alat yang digunakan. Oleh sebab itu, dalam prosedur operasinya sensor-sensor tersebut dapat digunakan sebagai elemen sensor yang independen. Contoh dari sistematika *array sensor* ditunjukkan pada Gambar 1 [6].

Gambar 1 Contoh sistematika *array* sensor

2.3 Gas Polutan

Gas-gas polutan adalah gas-gas yang menyebabkan terjadinya polusi atau pencemaran udara. Gas-gas polutan akan menyebabkan berbagai macam penyakit mulai penyakit pernapasan hingga penyakit organ dalam. Pada Tabel 1 ditampilkan berbagai macam gas polutan di udara bebas beserta batas amannya bagi kesehatan [7,8,9,10,11,12,13].

Tabel 1 Daftar gas polutan dan batas aman bagi kesehatan

No	Gas	Batas Aman
1	Hidrokarbon	0,24 ppm/3 jam
2	Karbon monoksida (CO ₂)	5000 ppm/8 jam
3	Karbon dioksida (CO)	35 ppm/1 jam
4	Nitrogen dioksida (NO ₂)	100 ppb/1jam
5	Hidrogen sulfida (H ₂ S)	15 ppm/15 menit
6	Etanol (C ₂ H ₅ OH)	1000 ppm/1 jam
7	Amoniak (NH ₃)	25 ppm/1 jam
8	Hidrogen (H ₂)	-

Saat konsentrasi gas-gas polutan pada Tabel 1 terhidup dalam jangka waktu yang melebihi batas waktu yang tercantum maka akan langsung mengakibatkan gangguan pada kesehatan manusia.

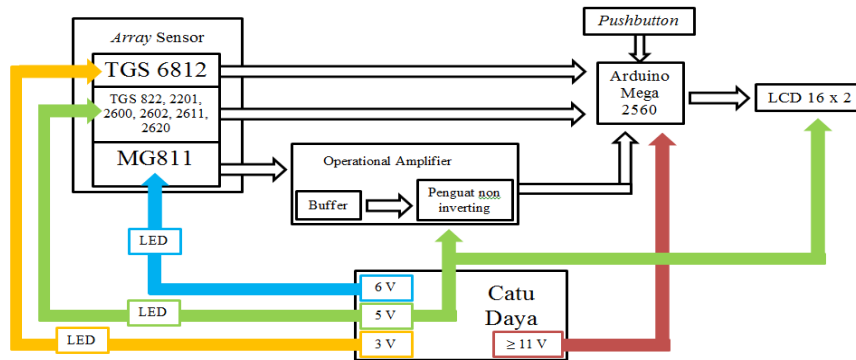
2.4 Analisis Error Rumus

Masing-masing grafik karakteristik setiap sensor saat mendeteksi gas polutan dapat dibuat persamaan matematika yang menyatakan hubungan antara tegangan keluaran setiap sensor dengan konsentrasi gas yang terdeteksi [14].

Karena hampir semua grafik pada *datasheet* merupakan grafik logaritmik, maka rumus pendekatan yang dibuat mempunyai error yang masih cukup besar. Error ini dapat diperkecil dengan cara memecah *range* konsentrasi menjadi beberapa bagian sehingga masing-masing bagian yang baru memiliki rumus tersendiri. Hal ini dilakukan agar jarak antar nilai pada sumbu y sebagai sebagai nilai konsentrasi menjadi lebih teratur. Dengan keteraturan nilai pada sumbu y maka rumus yang digunakan sebagai pendekatan akan lebih sesuai sehingga meminimalisasi *error*. Dengan cara ini nilai rata-rata error kesalahan pengukuran dapat diperkecil dari *range* antara 1,05 –15,13 % menjadi antara 0–8,84 %.

2.5 Rancangan sistem

Pada Gambar 2 ditampilkan blok diagram dari sistem deteksi dan monitoring polusi udara berbasis *array* sensor gas yang dibuat.



Gambar 2 Blok diagram sistem

Pendeteksi gas dibangun menggunakan delapan buah sensor gas. Sensor-sensor tersebut adalah tujuh sensor keluaran perusahaan Figaro Inc seri TGS dan sebuah sensor CO₂ seri MG811 keluaran Hanwei Electronics. Delapan sensor tersebut terbagi menjadi tiga kelompok, yakni sensor dengan catu daya 6 V, 5 V, dan 3 V. Tegangan keluaran masing-masing sensor akan diolah oleh perangkat ADC ATmega 2560 pada *board Arduino Mega 2560* dan selanjutnya dilakukan perhitungan menurut algoritma yang sudah diprogramkan. Khusus untuk keluaran dari sensor MG811 harus diolah melalui *buffer* sebagai pengonversi impedansi dari keluaran sensor. Tombol tekan digunakan untuk memilih pilihan tampilan, sedangkan hasil perhitungan konsentrasi gas polutan ditampilkan pada layar LCD 16x2.

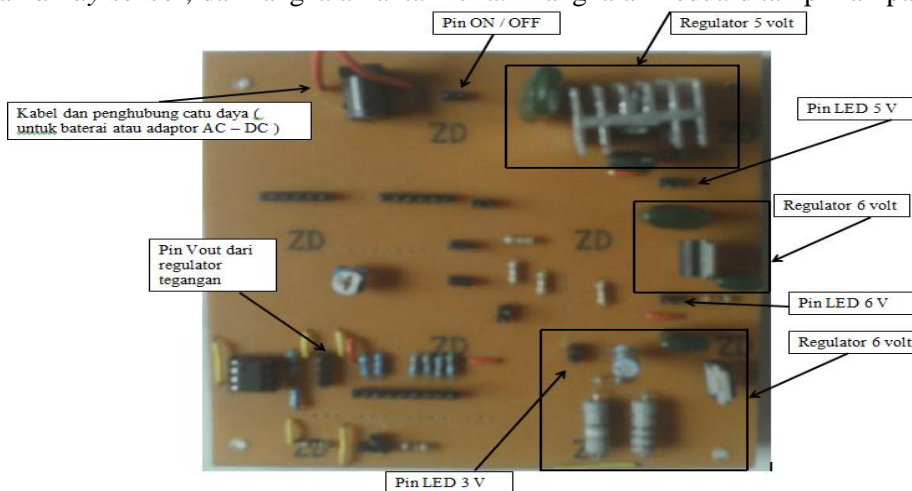
2.6 Implementasi Sistem

Ada tiga rangkaian utama pada peralatan yang dibuat. Rangkaian yang pertama adalah rangkaian *array sensor*. Pada rangkaian ini sensor ditempatkan secara melingkar seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 [15].



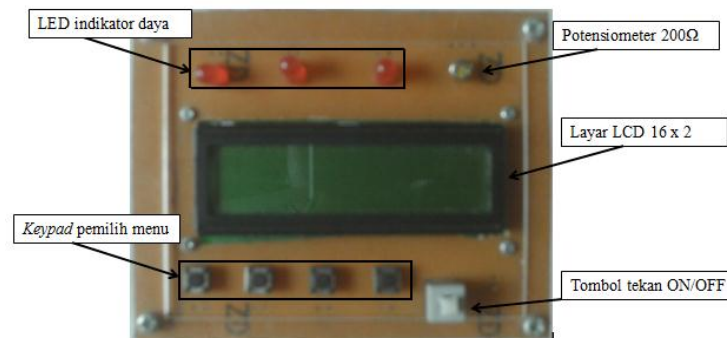
Gambar 3 Array sensor

Rangkaian yang kedua adalah rangkaian yang berfungsi sebagai catu daya, pengondisi tegangan yang masuk ke mikrokontroler, dan pin-pin penghubung antara mikrokontroler, rangkaian *array sensor*, dan rangkaian antarmuka. Rangkaian kedua ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Rangkaian catu daya, pengondisi sinyal, dan penghubung antar rangkaian

Rangkaian ketiga adalah rangkaian antarmuka yang terdiri dari beberapa tombol *pushbutton*, saklar, LED indikator daya, dan penampil LCD. Pengguna mengoperasikan alat dan melihat hasil pengukuran melalui antarmuka ini. Gambar rangkaian antarmuka ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Rangkaian antarmuka pengguna

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kalibrasi Nilai R_o , sensor TGS 6812, dan MG811

Nilai R_o adalah nilai hambatan sensor dari TGS seri 26xx, TGS 822, dan TGS 2201 pada saat dipaparkan di udara bebas. Nilai R_o digunakan sebagai konstanta yang dipakai dalam menentukan nilai R_s/R_o pada saat melakukan pengukuran konsentrasi gas dengan nilai R_s merupakan hambatan sensor saat mendeteksi gas polutan. Daftar nilai R_o ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai R_o yang digunakan adalah nilai R_o yang stabil saat sensor dipaparkan di udara bebas setelah waktu tertentu pada kondisi suhu antara 29–33 °C dan kondisi kelembapan udara antara 49–70 % Rh.

Tabel 2 Daftar nilai R_o hasil kalibrasi

Sensor	Nilai R_o rata-rata (Ω)
TGS 2201	1386359
TGS 822	3417,43
TGS 2620	1724,28
TGS 2602	70552
TGS 2611	5626,86
TGS 2600	42566,67

Kalibrasi sensor TGS 6812 dilakukan dengan memutar potensiometer pada antarmuka pengguna. Potensiometer digunakan untuk membuat standar nilai 0 volt saat sensor tidak mendeteksi gas polutan. Saat peralatan dipaparkan di udara bebas bersih, potensiometer diputar sehingga nilai konsentrasi gas polutan yang ditampilkan untuk hasil pembacaan dari sensor TGS 6812 bernilai 0 ppm.

Proses kalibrasi MG811 dilakukan dengan mengukur nilai tegangan keluaran sensor saat dipaparkan di udara bebas. Menurut keterangan dari datasheet saat sensor terpapar gas CO_2 pada konsentrasi sekitar 400 ppm maka nilai tegangan keluaran sensor akan sebesar kurang lebih 324 milivolt [16,17]. Percobaan menghasilkan nilai tegangan sensor saat dipaparkan di udara bebas sebesar 320 milivolt.

3.2 Pengujian Deteksi Gas Polutan menggunakan Sampel

Untuk menguji kinerja peralatan dalam mendeteksi dan mengukur gas-gas polutan, sebelum digunakan untuk mengukur polutan di jalan raya peralatan digunakan untuk

mendeteksi dan mengukur gas polutan yang dikenakan pada peralatan. Sampel gas polutan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Daftar sampel gas polutan

No	Sumber	Gas dideteksi
1	Cuka ditambah soda kue	CO ₂
2	Asap kendaraan	CO, NO _x , hidrogen, dan hidrokarbon
3	Asap rokok	H ₂ S, C ₂ H ₅ OH, CO, NH ₃ dan NO ₂
4	LPG	Propana dan Butana
5	Korek api gas	Butana
6	Larutan etanol	Etanol
7	Larutan amonia	Amoniak (NH ₃)

Hasil dari pengujian menggunakan sampel pada Tabel 3 ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian menggunakan ampel gas polutan

No	Hasil
1	Saat waktu pemaparan ditambah, konsentrasi CO ₂ terukur naik dari 515,17 ppm sampai 3124,57 ppm
2	Gas CO, NO ₂ , hidrogen, dan butana terdeteksi
3	Gas CO, NH ₃ , NO ₂ , C ₂ H ₅ OH, dan H ₂ S terdeteksi
4	Gas butana terdeteksi
5	Saat waktu pemaparan diperlama, konsentrasi butana terukur semakin naik
6	Gas Etanol terdeteksi dengan variasi konsentrasi yang cukup kecil
7	Saat larutan diencerkan, konsentrasi amoniak terukur semakin kecil

3.3 Pengukuran Gas Polutan di Lingkungan Tempat Tinggal

Percobaan dilakukan sebanyak lima kali pada kondisi kelembapan udara antara 64–69% Rh dan suhu antara 28–31 °C. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil pengukuran konsentrasi gas polutan di lingkungan tempat tinggal

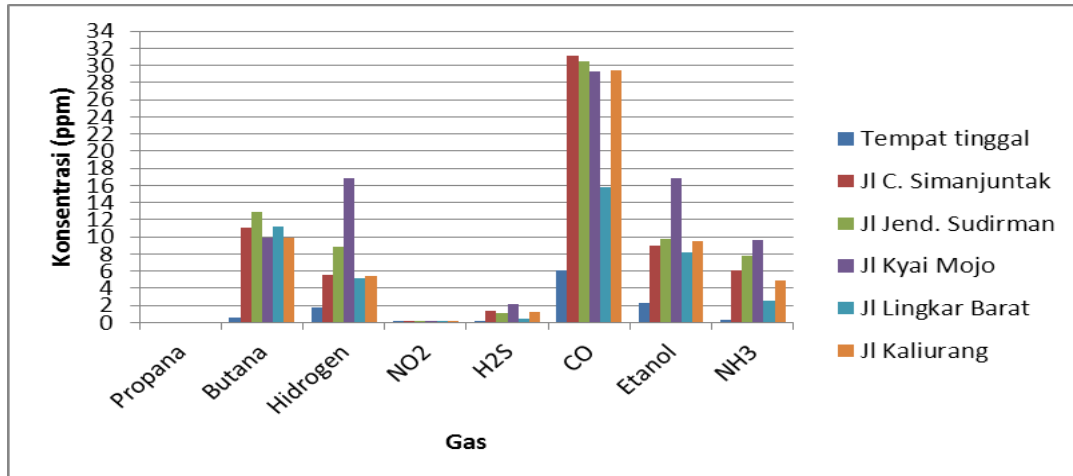
Gas	Range konsentrasi terukur (ppm)
Propana (C ₃ H ₈)	0
Butana (C ₄ H ₁₀)	0–3,56
Hidrogen (H ₂)	0–2,13
Nitrogen dioksida (NO ₂)	0,06–0,07
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0,01–0,06
Karbon monoksida (CO)	0,89–6,57
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	0,31–3,48
Karbon dioksida (CO ₂)	403,96
Amoniak (NH ₃)	0,28–0,37

Hasil pengukuran setiap gas pada Tabel 5 didapatkan dari perhitungan keluaran setiap sensor yang bersesuaian. Secara umum, konsentrasi gas hasil perhitungan dari sensor-sensor tersebut sudah cukup saling berdekatan. Hal ini menandakan bahwa peralatan mampu mendeteksi berbagai macam gas dengan cukup baik. Dalam pengambilan data, hal yang perlu diperhatikan adalah pemerataan distribusi gas polutan agar dapat mengenai sensor secara merata. Saat konsentrasi gas yang mengenai sensor tidak merata, maka hasil yang didapatkan dari sensor 1 akan menjadi relatif jauh dari hasil sensor yang lain. Nilai 0 ppm pada konsentrasi gas propana disebabkan oleh faktor *zero offset* dari sensor TGS 6812 sebesar ±35 milivolt

sehingga sensor ini baru dapat menghasilkan nilai deteksi gas propana saat tegangan sensor > 35 milivolt dan nilai tegangan ini setara dengan 9000 ppm gas butana.

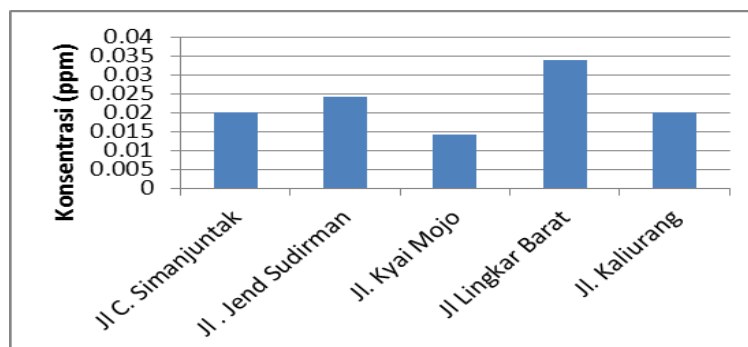
3.4 Pengukuran Gas Polutan di Jalan Raya

Pengambilan data nilai konsentrasi gas polutan dilakukan di Jalan C.Simanjuntak, Jalan Jendral Sudirman, Jalan Kyai Mojo, Jalan Lingkar Barat, dan Jalan Kaliurang yang padat kendaraan pada kondisi suhu antara 29–32 °C dan tingkat kelembapan antara 65–70 % Rh. Hasil pengukuran gas polutan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Nilai rata-rata konsentrasi gas polutan terukur di lima jalan raya

Pada Gambar 6 terlihat bahwa terdapat gas-gas polutan yang antara satu tempat dengan tempat yang lain menunjukkan nilai yang hampir sama seperti butana, H₂S, dan CO. Nilai konsentrasi gas CO₂ tidak ditampilkan pada grafik karena skala konsentrasinya sangat tinggi dibandingkan gas-gas yang lain. Nilai konsentrasi gas CO₂ tidak mengalami perubahan sebesar 403,96 ppm. Nilai rata-rata konsentrasi gas butana di lima jalan raya adalah 10,99 ppm, sekitar 18 kali lebih tinggi dari lingkungan tempat tinggal. Nilai rata-rata konsentrasi gas hidrogen sebesar 8,36 ppm, sekitar 5 kali lebih tinggi dari konsentrasi di lingkungan tempat tinggal. Nilai rata-rata konsentrasi gas H₂S sebesar 1,24 ppm, sekitar 32 kali lebih tinggi dari lingkungan tempat tinggal. Nilai rata-rata konsentrasi gas CO sebesar 27,22 ppm, sekitar 4,5 kali lebih tinggi dari konsentrasi di lingkungan tempat tinggal. Nilai rata-rata konsentrasi gas etanol adalah 10,62 ppm, sekitar 4,8 kali lebih tinggi dari kadar di lingkungan tempat tinggal. Nilai rata-rata konsentrasi gas NH₃ sebesar 6,18 ppm, sekitar 19 kali lebih tinggi dari lingkungan tempat tinggal. Nilai rata-rata konsentrasi gas NO₂ di jalan raya adalah 0,022 ppm. Nilai konsentrasi gas NO₂ juga tidak terlihat pada grafik Gambar 6.45 karena konsentrasinya yang terlampaui kecil. Grafik nilai rata-rata konsentrasi gas NO₂ di udara bebas ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik nilai rata-rata konsentrasi gas NO₂

Besar nilai konsentrasi gas NO₂ di Jalan C. Simanjuntak, Jalan Jend. Sudirman, dan Jalan Kaliurang hampir sama pada nilai 0,02 ppm. Konsentrasi tertinggi terdapat di Jalan Lingkar Barat pada nilai 0,034 ppm sedangkan konsentrasi terendah terdapat di Jalan Kyai Mojo pada nilai 0,014 ppm.

Dari hasil pengukuran yang sudah didapatkan, nilai konsentrasi gas yang sudah melebihi ambang batas aman adalah gas butana (C₄H₁₀) dengan ambang batas 0,24 ppm.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis *Array* Sensor Gas dapat digunakan untuk melakukan deteksi dan monitoring gas-gas polutan hidrogen sulfida (H₂S), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), etanol (C₂H₅OH), amoniak (NH₃), butana (C₄H₁₀), dan hidrogen (H₂) dengan menampilkan hasil deteksi pengukuran pada layar LCD 16x2 karakter.
2. Sensor TGS 2600 yang dalam *datasheet* tertulis mempunyai daya deteksi hingga 100 ppm dapat digunakan untuk mengukur kadar gas CO hingga konsentrasi 400 ppm dengan hasil yang cukup baik ketika dibandingkan dengan sensor TGS 822 yang mempunyai daya deteksi hingga 5000 ppm.
3. Sensor TGS 2600 yang dalam *datasheet* tertulis mempunyai daya deteksi hingga 100 ppm dan sensor TGS 2602 yang dalam *datasheet* tertulis mempunyai daya deteksi hingga 30 ppm akan menghasilkan respon yang menghasilkan hasil perhitungan yang tinggi ketika sampel etanol yang diujikan melebihi 100 ppm dan 30 ppm.
4. Pada pengujian menggunakan sampel larutan amoniak, konsentrasi gas terukur oleh sensor TGS 2602 akan akurat jika konsentrasi sampel tidak melebihi 30 ppm.
5. Sensor TGS 6812 kurang cocok untuk digunakan pada pendeteksian polusi udara di jalan raya karena hanya sensitif terhadap konsentrasi gas yang tinggi.
6. Dalam pengukuran konsentrasi gas polutan menggunakan *array* sensor gas, faktor penting yang mempengaruhi hasil perhitungan adalah letak sensor dan distribusi gas sampel yang merata pada setiap sensor.
7. Gas polutan di jalan raya yang melewati ambang batas aman adalah hidrokarbon jenis butana dengan rata-rata konsentrasi 10,99 ppm dan gas polutan yang hampir mendekati batas aman adalah karbon monoksida (CO) dengan rata-rata konsentrasi 27,22 ppm.

5. SARAN

Pada penelitian ini masih terdapat banyak hal yang harus disempurnakan. Berikut ini disampaikan saran - saran untuk menyempurnakan penelitian dan sistem yang dibuat.

1. Sebaiknya digunakan mikrokontroler dengan resolusi perangkat ADC yang lebih besar sehingga bisa meningkatkan resolusi nilai konsentrasi gas yang dihitung.
2. Sebaiknya digunakan sensor gas yang lebih selektif terhadap sampel gas polutan tertentu. Akan lebih bagus jika digunakan sensor-sensor yang hanya peka terhadap satu macam gas saja.
3. Agar peralatan dapat merekam nilai konsentrasi gas selama rentang waktu tertentu, dapat ditambahkan media penyimpanan *portable* seperti SD card atau ditambahkan perangkat pengiriman data *wireless*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zampolli, S., Elmi, I., Ahmed F., Passini, M., Cardinali, G.C., Nicoletti, S., Dori, L., 2004, An electronic nose based on solid state sensor arrays for low-cost indoor air quality monitoring applications. [http:// www.sciencedirect.com/science/article/pii/](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/)

- S0925400504000784 diakses tanggal 8 Maret 2012.
- [2] Wicaksono, Y. dan Suismono, A., 2010, Deteksi Gas Berbahaya CO, CO₂, dan NO_x dengan Penampil Dot Matrix dan Level Bahaya serta Besarnya, <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-NonDegree-14525-paperpdf.pdf> diakses tanggal 15 Januari 2013.
 - [3] Di Lecce, V., Calabrese, M., Dario, R., 2010, Computational-based Volatile Organic Compounds discrimination: an experimental low-cost setup, *IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications Taranto (CIMS2010)*, Taranto.
 - [4] Swandanu, D., 2011, Sistem Pemantauan Kondisi Udara dengan Transmisi Radio Frekuensi, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
 - [5] Bartlett, P. N. and Gardner, J. W., 1992, *In Sensors and Sensory Systems for an Electronic Nose*, eds. Gardner, J. W. & Bartlett, P. N., Kluwer Academic, the Netherlands, p. 31.
 - [6] LeBlanc, M., 2010, A Design for a Remote Fuel Oil Gauge II, <http://blog.generaleccentric.net/?p=336>, diakses tanggal 27 Maret 2013.
 - [7] EPA, 2012, Six Common Pollutants : Nitrogen Dioxide, <http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/> diakses tanggal 6 September 2012.
 - [8] EPA, 2012, Carbon Monoxide : Health, <http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/health.html>, diakses tanggal 6 September 2012.
 - [9] US Departement of Labor – Occupational Safety & Health Adminstration. 2012, Chemical Sampling Information – Carbon dioxide, http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_225400.html diakses tanggal 27 Maret 2013.
 - [10] Anonim, 1999, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 tahun 1999 Tentang Baku Mutu Udara Ambien Nasional, <http://www.hukumonline.com/pusatdata/download/lt4ea9526979f77/parent/368>, diakses tanggal 7 September 2012.
 - [11] Pupuk Kaltim, 2009, Material Safety Datasheet: Ammonia, www.pupukkaltim.com/img/images//pageMSDS%20Amoniak.pdf diakses tanggal 8 Oktober 2012.
 - [12] Airgas, 2010, Material Safety Datasheet, www.airgas.com/documents/pdf/001029.pdf, diakses 27 Maret 2013.
 - [13] CEN, 2004, Material Safety Data Sheet for Ethanol, www.cen.iitb.ac.in/cen/usage-policies/msds/ethanol.pdf diakses tanggal 8 Oktober 2012.
 - [14] Akbar, A.T., 2011, Prototipe Sistem Pengukur Dan Penyimpan Data Konsentrasi Alkohol (C₂H₅OH) Pada Minuman Menggunakan Sensor TGS 2620 Dan SD Card, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
 - [15] Zhang, Z., Tong, J., Chen, D., Lan, Y., 2008, Electronic Nose with an Air Sensor Matrix for Detecting Beef Freshness, *Journal of Bionic Engineering*, 1, 5, 67–73, naldc.nal.usda.gov/download/35909/PDF.
 - [16] Hanwei Electronics, 2012, MG811 : CO₂ Gas Sensor, www.hwsensor.com, diakses tanggal 13 Februari 2012.
 - [17] McGee, M., 2012. Earth CO₂ Home Page. www.co2now.org diakses tanggal 8 Oktober 2012.