

Desain dan Pembuatan Sistem Pengukuran Kualitas Udara Menggunakan Mikrokontroler

M. Sadeli Amlı, Brian Yuliarto, Nugraha

Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung

Abstrak

Polusi udara muncul menjadi masalah terbesar di kota-kota besar. Polutan yang ada di udara tersebut berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk melakukan pemantauan kualitas udara. Namun, alat pemantauan yang ada saat ini memiliki banyak kekurangan di antaranya sangat statis, harganya mencapai Rp 5,5 milyar untuk satu unit, dan data yang ditampilkan tidak real time dan online. Penelitian ini menitikberatkan pada desain dan pembuatan sistem pengukuran kualitas udara agar dapat menghasilkan data pengukuran yang akurat dan datanya dapat ditampilkan pada situs jaringan. Skema sistem pengukuran kualitas udara ini terdiri dari sistem pengukuran, sistem database, dan sistem presentasi data. Modul pengukur terdiri dari sensor elektrokimia (CO-B4 dan SO₂-B4), pengondisi sinyal (ISB dan analog to digital converter), mikrokontroler Arduino, modul GSM/GPRS dan modul micro SD card. Sistem database menggunakan database MySQL dan presentasi data berupa aplikasi berbasis web.

Sistem pengukuran berhasil mengirimkan data dari modul pengukur ke sistem database dengan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 99,82%. Rata-rata waktu tempuh pengiriman data adalah 120 detik, sesuai dengan yang telah diprogramkan. Sensor gas CO-B4 telah berhasil dikalibrasi dengan baik dan telah menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, yaitu sebesar 97,03% dengan rentang kesalahan absolut [10-3;18,2]%. Data hasil pengukuran tersebut sudah dikonversikan ke dalam bentuk ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) dan dapat diakses pada situs jaringan secara real time dan online.

Kata kunci: polutan, polusi udara, sensor elektrokimia, mikrokontroler, sistem pengukuran, real time

1 Pendahuluan

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu permasalahan besar yang dihadapi dunia saat ini. Masalah utama pencemaran ini yaitu menurunnya kualitas udara. Penurunan kualitas udara ini disebabkan oleh berbagai hal, mulai dari eksploitasi lingkungan yang berlebihan, aktivitas industri, penggunaan energi, hingga emisi gas buang kendaraan yang semuanya memicu ke permasalahan polusi.

Secara umum, dampak kesehatan yang banyak dijumpai akibat pencemaran udara adalah ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut) termasuk di antaranya, asma, bronkitis, kanker hingga kematian. Oleh karena itu, perlu suatu alat pemantauan kualitas udara untuk mengetahui kandungan gas-gas berbahaya di lokasi dimana alat ini ditempatkan dan mengambil tindakan pencegahan dengan cepat apabila terindikasi konsentrasi gas-gas tersebut berada di atas ambang batas normal.

Sejauh ini pemerintah Republik Indonesia sudah membeli dan menggunakan Stasiun Pemantau Kualitas Udara (SPKU) untuk mengukur berbagai jenis polutan udara. Akan tetapi, data statistik lapangan menunjukkan jumlah minimal alat pengukur kualitas udara tersebut di masing-masing kota belum sepadan dengan jumlah minimal yang dianjurkan, dimana idealnya satu SPKU digunakan untuk 200.000 penduduk [1]. Hal ini disebabkan selain harga SPKU yang sangat mahal, bahkan mencapai Rp 5.500.000.000 per unitnya [2], juga karena biaya pemeliharaannya yang mencapai Rp 500.000.000 per tahun [3].

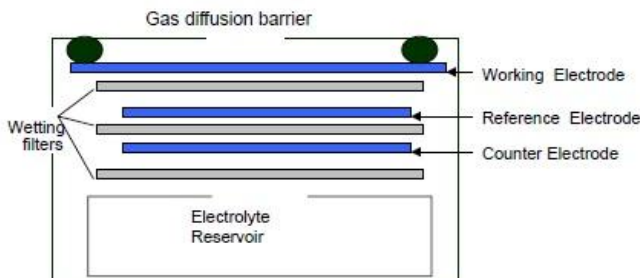
Selain itu, alat SPKU tersebut hanya menampilkan data pengukuran setiap pukul 15.00. Dengan mempertimbangkan alat SPKU yang sangat mahal, dan juga mempertimbangkan semakin banyaknya kendaraan bermotor di perkotaan, maka pada tugas akhir ini akan dibuat sistem sensor pengukuran kualitas udara serta dapat menampilkannya pada aplikasi web.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat desain dan sistem pengukuran kualitas udara berbasis mikrokontroler yang akurat serta data dapat ditampilkan pada aplikasi berbasis web sehingga diharapkan dapat membantu pemerintah dan pihak terkait untuk mengetahui kandungan gas-gas berbahaya di lokasi dimana alat ini ditempatkan dan mengambil tindakan pencegahan dengan cepat apabila terindikasi konsentrasi gas-gas tersebut berada di atas ambang batas normal.

2 Teori Dasar

2.1 Sensor Elektrokimia

Sensor gas beracun Alphasense adalah sebuah sel elektrokimia yang beroperasi secara amperometrik yang didasarkan pada arus yang memiliki proporsi linear dengan volume fraksional dari gas-gas beracun [4]. Gambar 1 menunjukkan struktur dari sensor gas beracun. Saat gas masuk secara difusi menuju sensor akan dioksidasi atau direduksi pada elektroda kerja. Hasil reaksi pada sel elektrokimia ini akan menghasilkan arus, yang besarnya sebanding dengan konsentrasi dari gas di udara.

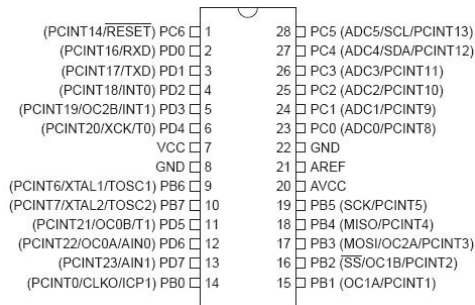


Gambar 1 Diagram skematik sensor elektrokimia

Elektroda konter berfungsi untuk menjaga kestabilan seluruh reaksi dengan cara mengurangi oksigen dengan proton dan elektron dari elektroda kerja. Elektroda referensi berguna untuk memastikan agar sistem bekerja dengan benar.

2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu IC dengan kepadatan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan untuk suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping, biasanya terdiri dari: CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM/ EPROM/ PROM/ ROM, I/O, Serial & Parallel, Timer, dan Interrupt Controlleri4.



Gambar 2 Diagram skematik mikrokontroler ATmega328

Rata-rata mikrokontroler memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung dan mudah, dan proses interrupt yang cepat dan efisien. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai 'otak' yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik [5].

2.3 Cloud Server

Terdapat suatu sistem penyimpanan data yang dapat diakses oleh pengguna, namun pengguna tersebut tidak mengetahui tempat penyimpanan data tersebut. Sistem penyimpanan tersebut dapat disebut *cloud server*. *Cloud server* adalah suatu paradigma tentang keberadaan informasi, yaitu informasi berada di server internet secara permanen dan informasi berada di klien secara sementara. Terdapat istilah komputasi awan (*cloud computing*) dalam *cloud server*. Komputer klien tidak perlu melakukan komputasi berat dengan adanya sistem komputasi awan untuk menjalankan aplikasi yang dibutuhkan serta komputer klien tidak perlu memasang aplikasi yang dibutuhkan di tiap komputer. Terdapat dua komponen utama dalam *cloud server*, yaitu *web server* dan *database*.

2.4 Kalibrasi

Kalibrasi merupakan proses untuk menyesuaikan keluaran atau indikasi dari suatu perangkat pengukuran agar sesuai dengan besaran dari standar yang digunakan dalam akurasi tertentu.

Berikut adalah tujuan kalibrasi :

1. Mencapai ketertelusuran pengukuran. Hasil pengukuran dapat dikaitkan sampai ke standar yang lebih tinggi (standar nasional dan atau internasional), melalui rangkaian perbandingan yang tak terputus.
2. Menentukan deviasi/penyimpangan kebenaran nilai konvensional penunjukan suatu alat ukur.
3. Menjamin hasil-hasil pengukuran sesuai dengan standar Nasional maupun Internasional.

2.5 Kesalahan

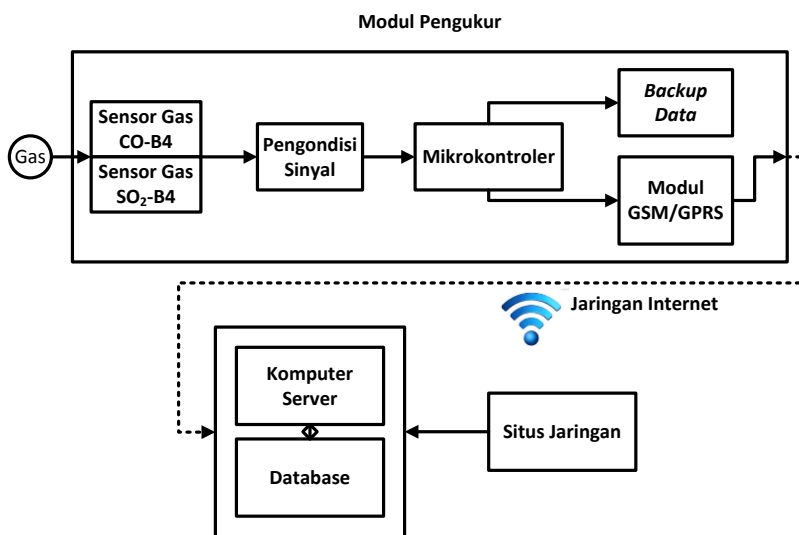
Kesalahan pada pengukuran dan komputasi dapat dinyatakan dengan akurasi dan presisi. Akurasi adalah kedekatan nilai pengukuran atau komputasi dengan nilai yang sebenarnya. Sedangkan presisi adalah kedekatan/konsistensi nilai pengukuran atau komputasi yang

dilakukan berulang kali pada kondisi yang sama. Kesalahan absolut adalah deviasi/simpangan mutlak dari nilai yang sebenarnya.

2.6 ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara)

Indeks Standar Pencemar Udara adalah penyampaian data kualitas udara kepada masyarakat yang menunjukkan seberapa bersih atau kotor udara yang ada di suatu area, serta menunjukkan tingkat kualitas yang menerangkan dampak dari pencemaran udara terhadap makhluk hidup, khususnya manusia. Pemerintah Indonesia menetapkan 5 parameter pencemar, yaitu partikel debu (PM10), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), dan nitrogen dioksida (NO₂) [6].

3 Perancangan



Gambar 3 Skema sistem pengukuran kualitas udara

Skema sistem pengukuran kualitas udara ini terdiri dari sistem pengukuran, sistem *database*, dan sistem presentasi data seperti yang terlihat pada Gambar 3. Sistem pengukuran data terdiri 2 sensor parameter, yaitu sensor gas CO dan sensor gas SO₂. Kedua sensor tersebut kemudian dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal yang menyesuaikan keluaran sensor terhadap masukan mikrokontroler arduino. Hasil pembacaan oleh arduino kemudian dikirimkan ke sistem *database* pada komputer server melalui modul GSM/GPRS. Sistem *database* dibuat untuk menerima data hasil pengukuran dengan menyusun tabel pada modul MySQL di komputer server. Data yang disimpan tersebut kemudian diunduh oleh situs jaringan sehingga data pada sistem *database* dapat diperlihatkan kepada pengguna.

3.1 Modul Pengukur

Gas yang terdeteksi oleh sensor kemudian masuk secara difusi menuju sensor dan dioksidasi pada elektroda kerja. Hasil reaksi pada sel elektrokimia ini akan menghasilkan arus yang besarnya sebanding dengan konsentrasi dari gas tersebut. Arus yang dihasilkan

oleh reaksi elektrokimia kemudian secara langsung diubah menjadi keluaran tegangan pada *Individual Sensor Board* (ISB). Jadi keluaran dari pin sensor elektrokimia adalah berupa tegangan yang kemudian diubah menjadi sinyal digital atau dalam bentuk bit oleh pengubah analog ke digital *ADS1115* hingga kemudian diolah di mikrokontroler. Pada modul pengukur ini dibuat sebuah modul penghubung antara sensor, pengubah analog ke digital dan mikrokontroler. Modul penghubung ini bertujuan agar semua keluaran dari sensor dapat dikirimkan ke mikrokontroler. Keluaran mikrokontroler yang berupa data bit kemudian dikirimkan langsung ke sistem *dababase* pada komputer server menggunakan modul GSM/GPRS *Simcom SIM900* melalui jaringan internet dengan memanfaatkan operator jaringan *tri*.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak arduino berfungsi sebagai tempat untuk menulis program yang nantinya akan diupload ke arduino. Terdapat tiga langkah yang harus dilakukan dalam melakukan pemrograman di arduino, yaitu: menulis program, mengecek (*compile*) program, dan mengunggah program ke mikrokontroller.

3.3 Perancangan Database

Database yang digunakan pada penelitian ini adalah *database* MySQL yang berada pada piranti lunak *phpmyadmin* komputer server dengan alamat <http://www.getsync.com/cpanel>. Perancangan *database* diawali dengan pembuatan *database* baru. Pada tabel MySQL, kolom merupakan bagian tetap dan baris merupakan bagian sementara seiring dengan berkurang ataupun bertambahnya data yang masuk pada tabel.

3.4 Penampilan Data Pada Situs Jaringan

Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan situs jaringan yang sudah dimiliki oleh Lab AFM Teknik Fisika ITB dengan alamat <http://www.getsync.com/bandung>. Situs jaringan melakukan pengambilan data dari *database* di komputer server dengan menggunakan skrip pemograman khusus.

3.5 Perancangan Casing Alat

Perancangan casing alat ukur yang dibuat pada tugas akhir ini didesain menggunakan bahan fiber glass dengan dimensi panjang 30 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 15 cm seperti yang terlihat pada Gambar 3.2



Gambar 4. Casing alat ukur

4 Hasil dan Analisis

4.1 Pengujian Jaringan

Pengujian jaringan bertujuan untuk memastikan kemampuan dan kelancaran pengiriman data dari alat ukur ke komputer *server/database* setiap dua menit. Pengujian jaringan dilakukan dengan cara menghitung persentase keberhasilan pengiriman data dari data pengukuran sensor. Dari 2.269 baris data tersebut dihitung jumlah baris data yang berhasil mengirimkan data kurang atau sama dengan dua menit dengan menggunakan *microsoft excel*. Hasil penghitungan jumlah data yang berhasil mengirim dalam waktu kurang atau sama dengan dua menit adalah sebanyak 2.265 data. Data tersebut menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan pengiriman data adalah sebesar 99,82% dengan data yang hilang sebesar 0.18% dan waktu pengiriman rata-rata adalah 120 detik. Data yang hilang tersebut terjadi disebabkan karena adanya pemadaman listrik sehingga data yang telah diolah pada alat ukur baru dikirim ke *database* setelah listrik dinyalakan kembali.

4.2 Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi alat ukur bertujuan untuk menyesuaikan data hasil pengukuran alat sensor yang dibuat pada penelitian ini dengan data hasil pengukuran alat standar dengan cara menemukan faktor koreksinya. Langkah pertama yang dilakukan sebelum kalibrasi adalah dengan melakukan perbandingan hasil pengukuran alat ukur yang dibuat pada penelitian ini dengan alat ukur standar yang telah terkalibrasi dengan baik. Pada penelitian ini, alat standar yang digunakan adalah *Horiba CO-Gas Analyzer* dengan gas target yang digunakan adalah karbon monoksida.

Untuk menyesuaikan data hasil pengukuran alat sensor yang dibuat menjadi sama dengan data hasil pengukuran pada alat standar *Horiba*, maka dilakukan kalibrasi dengan menggunakan metode ko-lokasi. Metode ini dilakukan dengan mendapatkan sebuah kurva kalibrasi yang menunjukkan hubungan hasil pengukuran alat sensor yang dibuat dengan nilai pada alat standar *Horiba*.

Kurva kalibrasi didapatkan dengan cara memasukkan data alat standar *Horiba* sebagai axis (sumbu-x) dan data alat ukur yang dibuat sebagai ordinat (sumbu-y). Lalu diambil persamaan regresi linier dan didapat nilai 'y' yang merupakan fungsi terhadap alat standar *Horiba* dengan $R^2=0.9579$. Nilai kalibrasi dari alat ukur dapat dicari dengan menggunakan invers dari fungsi y sehingga didapat nilai yang baru adalah $(y/6.45)-0/04$.

4.3 Kesalahan Absolut

Setelah melakukan kalibrasi terhadap alat ukur yang dibuat, maka dilakukan penghitungan kesalahan absolutnya untuk membuktikan bahwa alat ukur yang dibuat telah terkalibrasi dengan baik dan untuk mengetahui rentang kesalahan absolut. Penghitungan dilakukan dengan menggunakan data pengujian alat ukur pada tanggal 9, 10, dan 11 April 2014. Jumlah data yang dihitung adalah sebanyak 2.269 buah data.

Penghitungan kesalahan absolut, kesalahan absolut rata-rata, nilai rata-rata dan standar deviasi alat ukur yang telah dikalibrasi dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$E = |X_{\text{horiba}} - X_{\text{alat ukur kal}}| \quad (1)$$

$$\bar{E} = |X_{\text{horiba}} - X_{\text{alat ukur kal}}| \times 100\% \quad (2)$$

$$X_{rata-rata} = \frac{\sum X_i}{n} \tag{3}$$

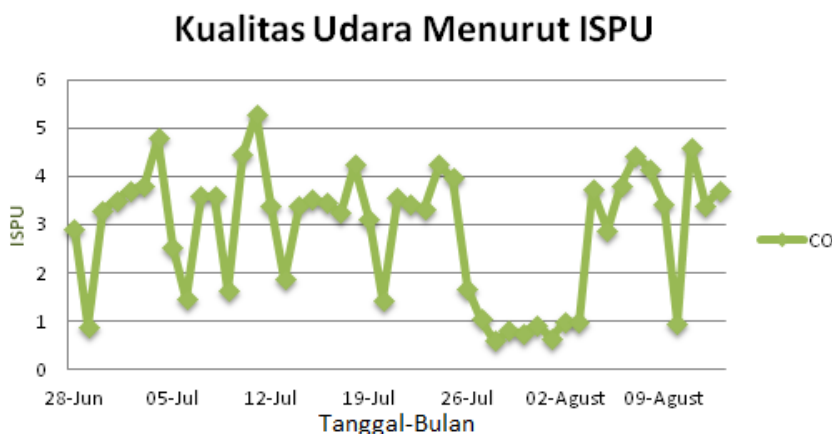
$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n-1}} \tag{4}$$

maka didapat hasil kesalahan absolut rata-rata adalah sebesar 0,0297 ppm atau 2,97 % dengan rentang kesalahan absolut [0,001 ; 18,2] %.

Hasil pengukuran oleh alat ukur memiliki ketelitian yang tinggi karena hasil rata-ratanya 0.10 dekat terhadap nilai rata-rata alat standar Horiba yang menjadi referensi (0.0998). dan mempunyai standar deviasi 0,03.

4.4 Pengujian Alat Ukur

Alat ukur yang telah dikalibrasi diuji coba di Gerbang Depan ITB selama 47 hari mulai dari tanggal 28 Juni 2014 pukul 00.00 hingga tanggal 13 Agustus 2014 pukul 21.03. Data hasil pengukuran tersebut kemudian diolah dan dikonversi ke dalam bentuk ISPU dengan menghitung rata-rata konsentrasi gas setiap hari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik rata-rata per hari hasil pengukuran CO di gerbang ITB

Pada Gambar 5 diketahui bahwa puncak terjadinya peningkatan kadar konsentrasi gas karbon monoksida (CO) terjadi pada setiap hari Jumat, lalu pada Sabtu dan Minggu selalu terjadi penurunan, sementara pada Senin hingga Kamis kadar konsentrasi CO tidak berbeda jauh. Namun pada hari Rabu tanggal 9 Juli 2014, terjadi penurunan konsentrasi CO secara signifikan, hal ini terjadi dikarenakan adanya hari libur Pemilihan Umum Capres dan Cawapres Republik Indonesia sehingga aktivitas pun minim. Kemudian juga terjadi penurunan konsentrasi gas CO secara signifikan pada 26 Juli 2014 hingga 3 Agustus 2014. Hal ini terjadi karena pada masa itu adalah masa libur lebaran Idul Fitri dan cuti bersama sehingga aktivitas di sekitar ITB sangat sedikit jika dibandingkan aktivitas pada hari Sabtu dan Minggu sebelum dan sesudah lebaran. Selain itu, Pada Gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa kualitas udara rata-rata setiap hari di gerbang depan ITB menurut ISPU tergolong ke dalam kategori BAIK karena rentang indeksinya di antara 1-50.

5 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian sistem pengukuran kualitas udara pada penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Telah berhasil dibuat sistem pengukuran kualitas udara menggunakan mikrokontroler seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2..
2. Alat ukur yang dibuat sudah terkalibrasi dengan baik, kesalahan absolut rata-rata sangat kecil yakni sebesar 0,0297 ppm atau 2,97 % dengan rentang kesalahan absolut [0,001 ; 18,2] % dan hasil pengukuran oleh alat ukur memiliki ketelitian yang tinggi karena hasil rata-ratanya 0.10 dekat terhadap nilai rata-rata alat Horiba yang menjadi referensi (0.0998) dan mempunyai standar deviasi 0,03.
3. Hasil pengukuran berhasil ditampilkan di situs jaringan secara real time dan online dengan alamat situs jaringan adalah <http://www.getsensy.com/bandung> dan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 99,82 %.
4. Pengukuran kualitas gas CO di ITB selama 47 hari menunjukkan bahwa kualitas gas CO rata-rata maksimum per hari menurut ISPU adalah 5,3 dan rata-rata maksimum per jam menurut ISPU adalah 11. Nilai rata-rata per hari dan per jam ini sudah tergolong baik menurut data ISPU, yakni berada di dalam rentang 0-50.

6 Daftar Pustaka

- [1] R. Suryani, "Jakarta Butuh 50 Stasiun Pemantau Kualitas Udara," Jakarta, 2010.
- [2] November 2009. [Online]. <http://metro-jakpus.blogspot.com/2009/11/alat-pengukur-kualitas-udara-mulai.html>. [Diakses 18 Maret 2014].
- [3] April 2009. [Online]. <http://bandung.detik.com/read/2009/04/24/164024/1120970/486/lima-alat-pengukur-polusi-udara-di-bandung-rusak>. [Diakses 17 Maret 2014].
- [4] Alphasense, "Application Notes," [Online]. Available: http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/07/AAN_104.pdf. [Diakses 18 February 2014].
- [5] B. Irawan, Jaringan Komputer, 1 penyunt., Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [6] B. P. D. L. RI, "KEP-107/KABAPEDAL/11/1997," Jakarta, 1997.