

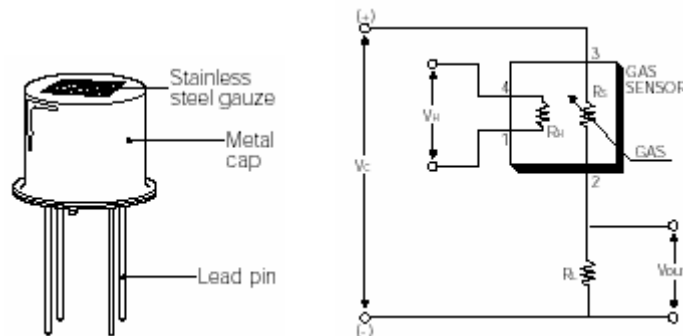
## AN32 – Air Quality Sensor I

Oleh: Tim IE & Ario Mardowo  
(Universitas Katholik Widya Mandala)

**K**ualitas udara yang kita hirup memang tidak terlihat mata. Perbedaan kadar oksigen dan zat lain juga sulit dideteksi oleh tubuh manusia (kecuali perbedaannya cukup ekstrem). Pada aplikasi ini sensor TGS 2600 akan digunakan untuk mendeteksi baik atau buruknya kondisi udara sekitar.

### Gas Sensor Figaro TGS 2600

Figaro TGS 2600 adalah transducer utama yang digunakan dalam rangkaian ini, yang merupakan sebuah sensor kimia atau gas sensor. Sensor ini mempunyai nilai resistansi  $R_s$  yang akan berubah bila terkena gas dan juga mempunyai sebuah pemanas (*heater*) yang digunakan untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. Struktur dari sensor terdapat pada Gambar 1.



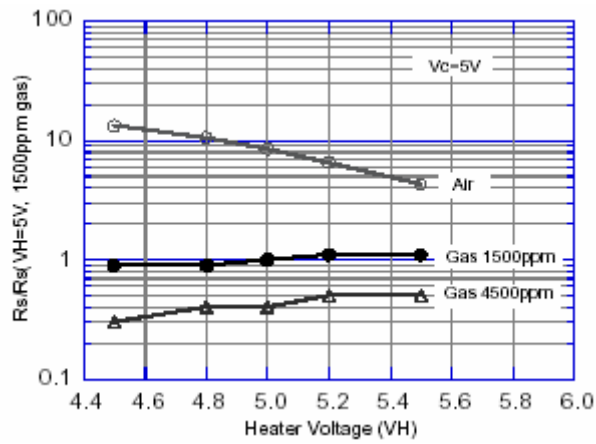
**Gambar 1**  
**Struktur Sensor Figaro TGS 2600**

Output tegangan pada hambatan  $R_L$  ( $V_{out}$ ) digunakan sebagai masukan pada mikroprosesor. Nilai resistansi  $R_L$  dipilih agar konsumsi daya dari sensor ( $P_s$ ) di bawah batas 15 mW, Nilai  $P_s$  akan meningkat pada waktu nilai resistansi sensor  $R_s$  sama dengan resistansi  $R_L$ . Nilai  $P_s$  dapat dicari berdasarkan persamaan berikut ini.

$$P_s = \frac{(V_c - V_{out})^2}{R_s} \dots\dots\dots (1)$$

$$R_s = \frac{(V_c - V_{out})}{V_{out}} \times R_L \dots\dots\dots (2)$$

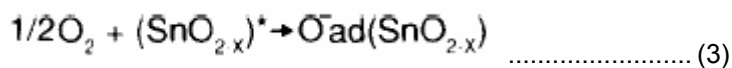
Pemanas pada sensor memerlukan tegangan yang konstan ( $\pm 5$  Volt DC) agar sinyal output sensor dapat terjaga keseimbangannya. Karakteristik tegangan pemanas terhadap resistansi sensor terdapat pada Gambar 2.



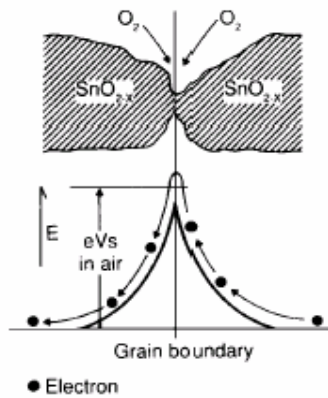
**Gambar 2**  
**Karakteristik tegangan pemanas terhadap resistansi sensor**

### Cara Kerja Sensor Gas Figaro Secara Umum

Bahan detektor gas dari sensor adalah metal oksida, khususnya senyawa SnO<sub>2</sub>. Ketika kristal metal oksida (SnO<sub>2</sub>) dihangatkan pada temperatur tertentu, oksigen akan diserap pada permukaan kristal dan oksigen akan bermuatan negatif, proses penyerapan oksigen oleh sensor dapat dilihat dari persamaan kimia berikut ini.

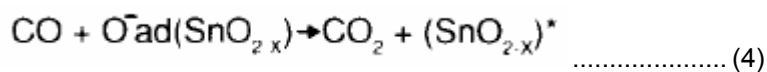


Hal ini disebabkan karena permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen yang terdapat pada lapisan luar, sehingga oksigen akan bermuatan negatif dan muatan positif akan terbentuk pada permukaan luar kristal. Tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran elektron seperti tampak pada ilustrasi Gambar 3.

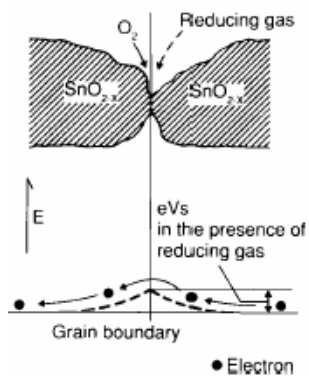


**Gambar 3**  
**Ilustrasi penyerapan O<sub>2</sub> oleh sensor.**

Di dalam sensor, arus elektrik mengalir melewati daerah *sambungan* (grain boundary) dari kristal SnO<sub>2</sub>. Pada daerah *sambungan*, penyerapan oksigen mencegah muatan untuk bergerak bebas. Jika konsentrasi gas menurun, proses deoksidasi akan terjadi, rapat permukaan dari muatan negatif oksigen akan berkurang, dan mengakibatkan menurunnya ketinggian penghalang dari daerah *sambungan*, misal terdapat adanya gas CO yang terdeteksi maka persamaan kimianya dapat digambarkan seperti tampak pada persamaan berikut ini.



Dengan menurunnya penghalang maka resistansi sensor akan juga ikut menurun.



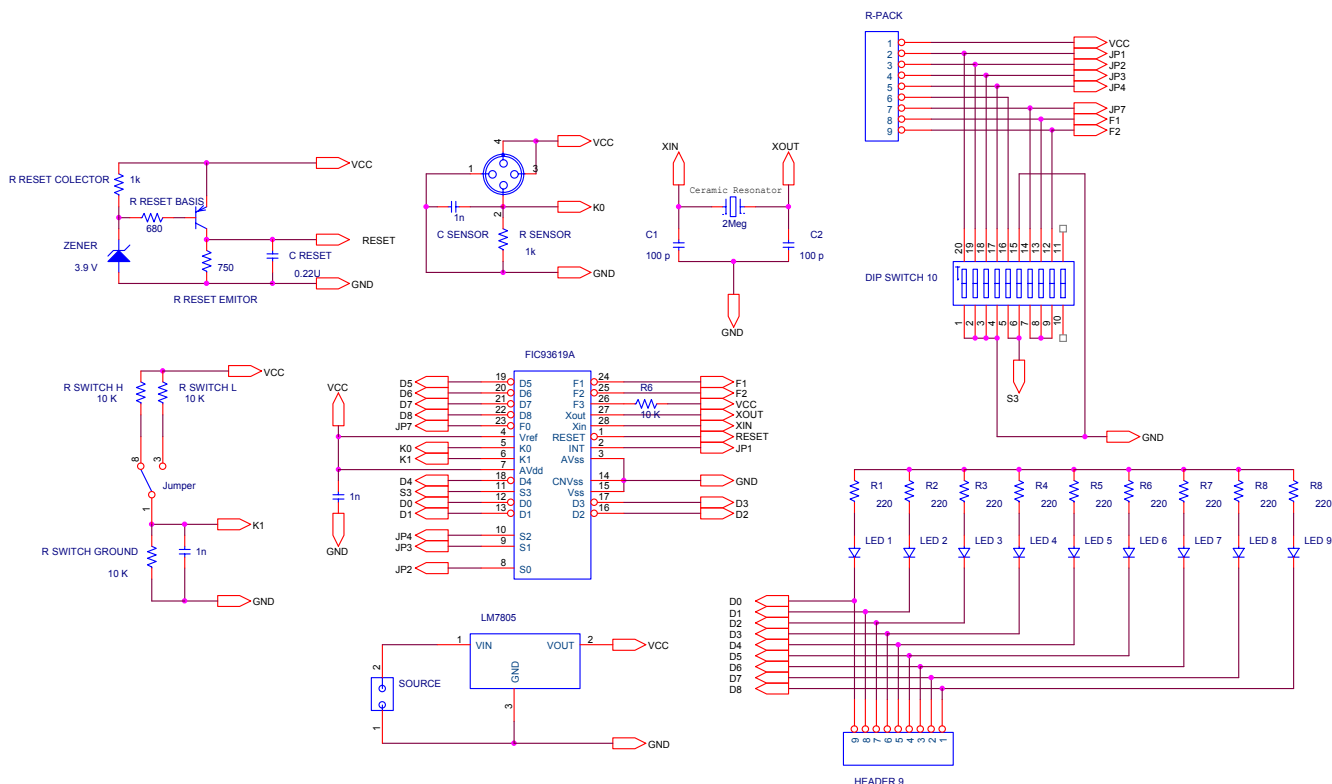
**Gambar 4**  
**Ilustrasi ketika terdeteksi adanya gas**

Hubungan antara resistansi sensor dengan konsentrasi gas pada proses deoksidasi dapat ditunjukkan dengan persamaan:

$$R = A[C]^{-\alpha} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana: R = resistansi sensor  
 A,  $\alpha$  = konstanta  
 [C] = konsentrasi gas

## Skematik Rangkaian Pemroses Sinyal



### Nilai komponen:

- R1 = 1 Kohm
- R2 = 680 Ohm
- R3 = 750 Ohm
- R4 = 1,3 KOhm
- R5 = 4,7 KOhm
- R6 = 10 KOhm

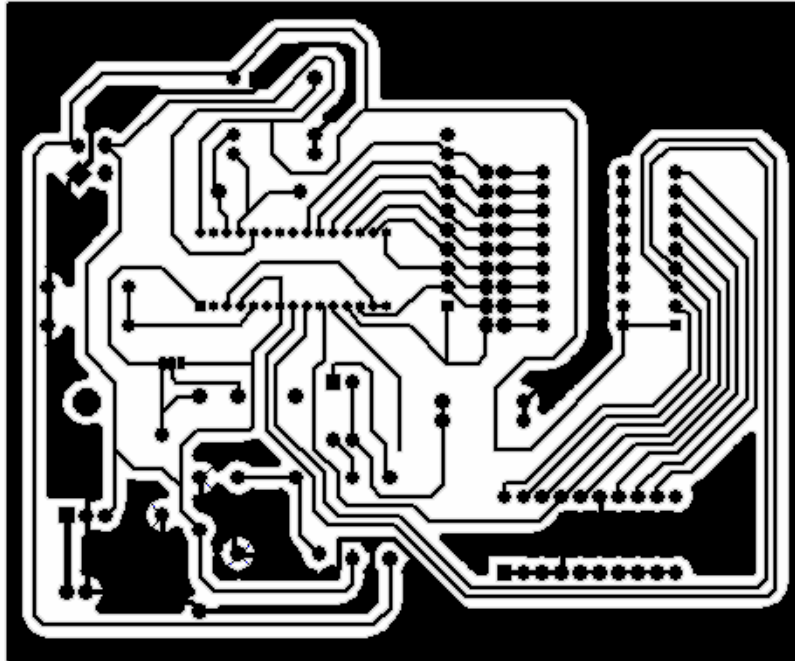
- R7 - R11 = 220 Ohm
- R12 – R13 = 10 KOhm
- R15 = 5 KOhm
- RA1 = 10 KOhm

ZD1 = 3,9 volt

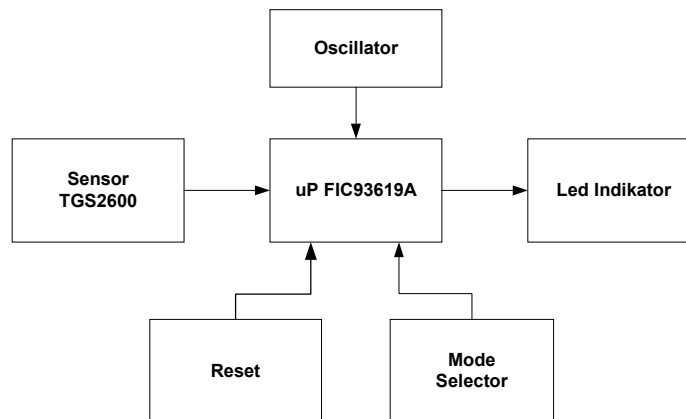
C1 = 0,22 uF  
C2 = 0,1 uF  
C3 = 0,1 uF  
C4 = 0,1 uF

C5 = 10 uF  
Q1 = AN 9012 PNP  
Ceramic Resonator = 2 MHz  
Regulator 5 VDC = LM 7805

## P<sub>CB</sub>



## Blok Diagram

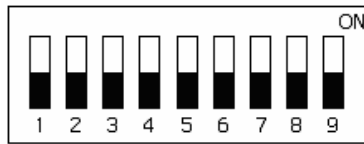


## Cara Kerja Sensor Kualitas Udara

Sistem memiliki beberapa tahapan kerja. Dimulai dengan inialisasi sensor kemudian mode sensitivitas tinggi dan terakhir sistem beroperasi normal. Sistem terus memantau output dari sensor lalu memutuskan bagaimana kondisi kualitas udara saat ini. Hasil keputusan sistem dapat digunakan untuk keperluan selanjutnya, seperti pembersihan udara (*air cleaning*) atau sistem ventilasi.

### Pilihan Mode

Pilihan mode (*mode selector*) digunakan sebagai pengatur *jumper*, pengatur kapasitas ruangan yang diukur dan sebagai pengatur waktu kerja dari sistem. Pilihan mode pada rangkaian ini dibuat menggunakan DIP *switch* dengan penempatan sesuai dengan Gambar 5.



**Gambar 5**  
**Susunan saklar pilihan mode**

Jika saklar digeser ke atas maka saklar dalam keadaan aktif (terhubung), sebaliknya jika saklar digeser ke bawah maka saklar dalam keadaan non-aktif (terputus). Keterangan lebih lanjut mengenai saklar pilihan mode adalah sebagai berikut:

a. Cara Kerja (saklar 1)

- Terhubung = mode *cleaner*
- Terputus = mode *ventilator*

b. Volume Ruangan (saklar 2 & 3)

Saklar volume ruangan juga mempengaruhi mode kapasitas kontrol pada saklar 7, yang terdiri atas mode 2 langkah (besar/kecil) dan mode 3 langkah (besar/sedang/kecil).

**Tabel 1**  
**Susunan saklar kontrol kapasitas ruangan**

Kapasitas kontrol	Volume yang diukur	Terhubung	
		Saklar 2	Saklar 3
Besar/kecil	Sedang	Ya	Ya
Besar/kecil	Kecil	Tidak	Ya
Besar/sedang/kecil	Kecil	Ya	Tidak
Besar/sedang/kecil	Sedang	Tidak	Tidak

c. Tipe Sensor (saklar 4)

**Tabel 2**  
**Susunan saklar jenis sensor yang digunakan**

Sensor	Saklar 4
TGS800	Terhubung
TGS2100	Terhubung
TGS2600	Terhubung

d. Pabrikan (saklar 5 dan 6)

Pengaturan yang telah ditentukan dari pabrik, agar jangan diubah.

e. Kapasitas kontrol, Automatis / Manual (saklar 7)

Pengaturan kapasitas kontrol ada dua bagian :

- Mode 3 langkah : Auto – kapasitas kecil – kapasitas sedang – kapasitas besar – auto.
- Mode 2 langkah : Auto – kapasitas kecil – kapasitas besar.

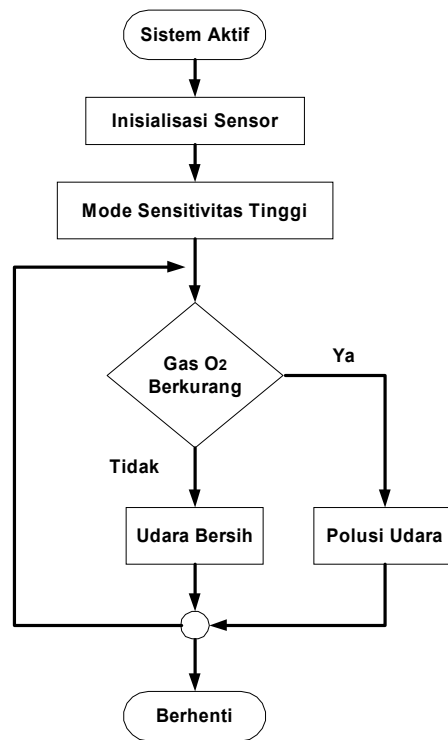
f. Pewaktuan (saklar 8)

Pengaturan waktu kerja sistem. Ada 4 macam bentuk pewaktuan, yaitu : kontinu – 1 jam – 2 jam – 4 jam – kontinu.

g. Reset (saklar 9)

Jika terhubung maka seluruh pengaturan akan hilang.

## Diagram Alir Rangkaian Sensor Kualitas Udara



**Gambar 6**  
Diagram alir rangkaian sensor kualitas udara

**a. Inisialisasi Sensor (*Sensor Warm-up*)**

Pada saat *power-on* maka rangkaian akan berada dalam kondisi *warm-up* dengan waktu kurang lebih 3-5 menit. *Warm-up* ini dibutuhkan untuk menyetabilkan tegangan *heater* pada sensor gas dan menyetabilkan kondisi sensor.

**b. Mode Sensitivitas Tinggi (*Initial High-Sensitive Operation*)**

Rangkaian bekerja dengan sensitivitas yang lebih tinggi dari keadaan normalnya selama kurang lebih 3 menit setelah periode *warm-up*. Dalam keadaan ini respon sensor lebih peka terhadap polusi yang terjadi.

**c. Operasi Normal**

Dalam keadaan ini sistem bekerja normal. Jika terdeteksi adanya polusi maka sistem akan mengeluarkan sinyal yang diterjemahkan ke dalam nyala LED. Mikroprosesor terus memantau perubahan dari sensor TGS dan perubahan pada tombol – tombol pilihan mode.

Mikroprosesor bekerja sebagai pengolah data utama. Input didapat dari sensor TGS 2600 sebagai pendeteksi adanya gas dioksida dan hidrogen. Mikroprosesor akan memproses lebih lanjut input tegangan yang didapat dari sensor dan kemudian akan memutuskan apakah kondisi udara saat ini bersih atau terpolusi. Tampilan LED akan menunjukkan tingkat polusi udara saat ini.

**d. Indikator LED**

Digunakan sebagai penunjuk tingkat kualitas udara, yang nyalanya diatur oleh mikroprosesor, tampilan LED akan menunjukkan kondisi udara saat ini dengan keterangan nyala LED sebagai berikut:

**Tabel 3**  
Susunan keterangan nyala LED

No LED	Keterangan
LED 1 (hijau)	Udara bersih
LED 2 (merah)	Udara tercemar
LED 3 (kuning)	Polusi – rendah
LED 4 (kuning)	Polusi – sedang
LED 5 (kuning)	Polusi – tinggi
LED 6 (kuning)	Kapasitas kontrol (otomatis)

Jika terdeteksi adanya pencemaran udara maka LED berwarna merah (LED 2) akan menyala, dan diikuti oleh salah satu dari LED berwarna kuning (LED 3 sampai LED 5). LED 3 sampai LED 6 juga berfungsi sebagai indikator kapasitas tempat yang diukur, dengan urutan: kapasitas kecil, kapasitas sedang, kapasitas besar, kapasitas otomatis.

Sedangkan tiga LED terakhir digunakan sebagai petunjuk waktu kerja sistem, dengan keterangan sebagai berikut:

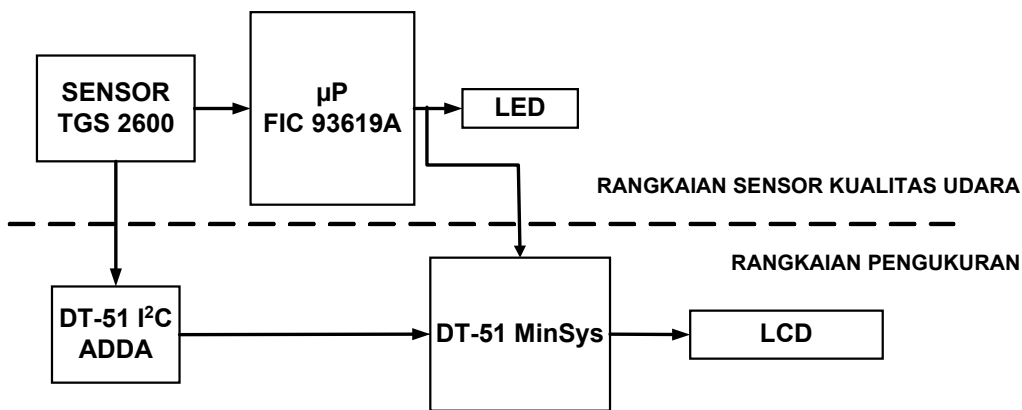
**Tabel 4**  
**Petunjuk waktu kerja berdasarkan nyala LED**

Waktu kerja	LED 7 (hijau)	LED 8 (hijau)	LED 9 (merah)
1 jam	o	x	x
2 jam	x	o	x
4 jam	x	x	o
kontinu	x	x	x

x = padam; o = menyala

### Menghubungkan Rangkaian Sensor Kualitas Udara dengan DT-51 System

Untuk mengetahui tegangan output  $R_L$  pada tingkat polusi udara tertentu maka rangkaian di atas dihubungkan ke DT-51 I<sup>2</sup>C ADDA, DT-51 Minimum System dan Character LCD. Diagram blok hubungannya sebagai berikut:



**Gambar 7**  
**Diagram blok rangkaian pengukuran**

Rangkaian pengukuran di atas digunakan untuk mencatat perubahan nilai tegangan pada hambatan  $R_L$  saat LED menunjukkan kondisi udara bersih, polusi rendah, polusi sedang, dan polusi tinggi.

Hubungan antara rangkaian sensor kualitas udara dengan rangkaian pengukuran terdapat pada tabel 5.

**Tabel 5**  
**Hubungan rangkaian pengukuran dengan rangkaian sensor kualitas udara**

Rangkaian sensor kualitas udara	Rangkaian pengukuran
Hambatan $R_L$	DT-51 I <sup>2</sup> C ADDA (JP1) GND dan AI0
Output LED FIC93619A	DT-51 MinSys (PORT A & PORT B) Port B

Sedangkan hubungan antar sistem pada rangkaian pengukuran adalah sebagai berikut:

**Tabel 6**  
**Hubungan antara DT-51 I2C ADDA dengan DT-51 MinSys**

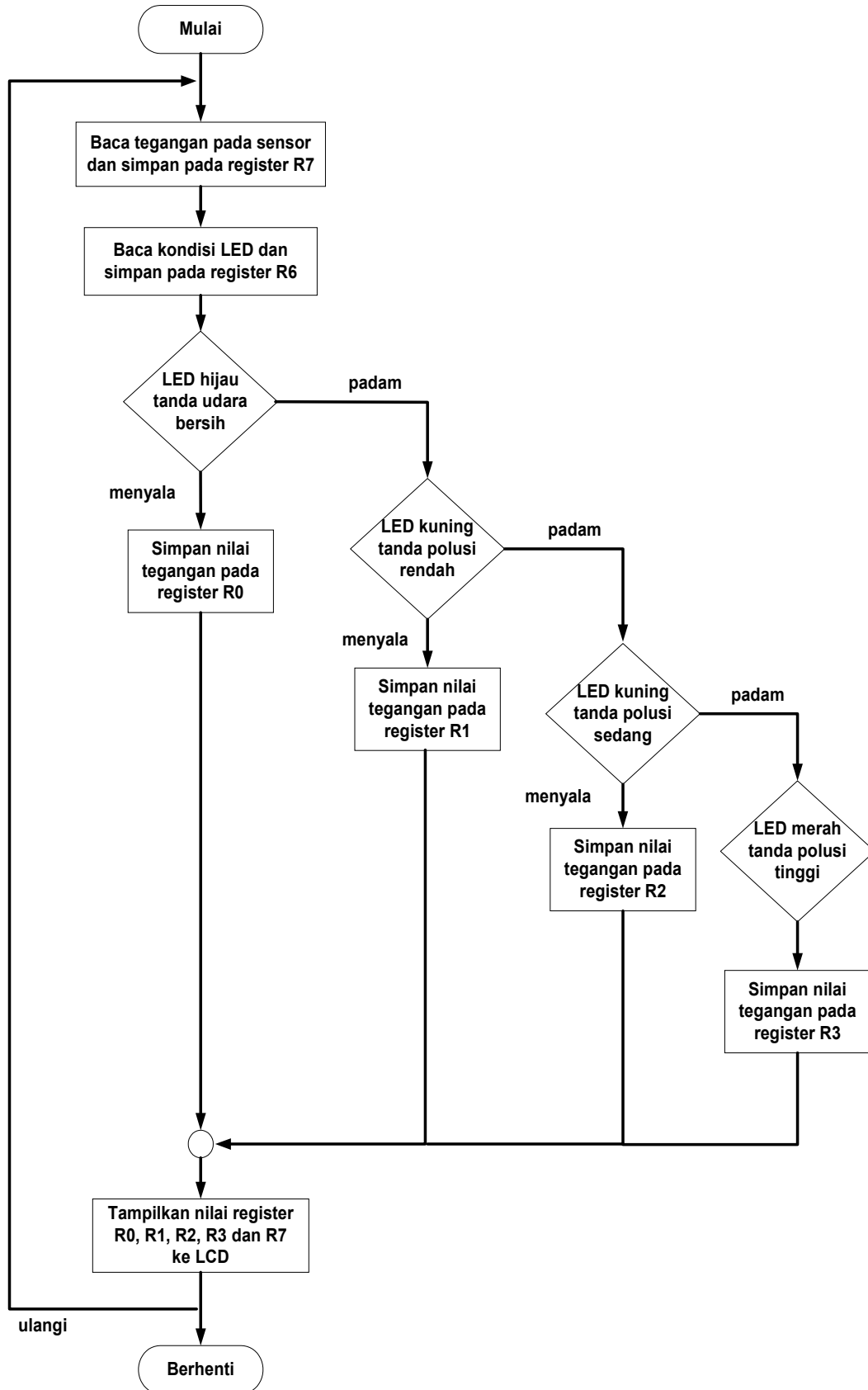
DT-51 I <sup>2</sup> C ADDA	DT-51 MinSys
(JP4) P16 dan P17	(PORT C & PORT 1) P16 dan P17
(JP2) DC 5 volt	(CONTROL) VCC dan GND

**Tabel 7**  
**Hubungan antara DT-51 MinSys dengan LCD**

LCD	DT-51 Min Sys
Port LCD	(LCD) Port LCD

Setelah semua modul terhubung dan mendapat tegangan catu yang sesuai, download-lah AQ1.HEX ke DT-51 MinSys ver 3.0.

## Diagram Alir Program



Gambar 8  
Diagram alir program



Pertama kali rangkaian pengukuran akan membaca nilai tegangan pada sensor kemudian nilai tegangan disimpan pada register R7, setelah itu rangkaian akan membaca sinyal output LED yang dikeluarkan oleh mikroprosesor FIC93619A dan menyimpannya pada register R6, dari hasil pembacaan LED akan diketahui kondisi udara saat ini. Jika kondisi udara saat ini bersih maka nilai tegangan akan disimpan pada register R0, jika terjadi polusi rendah maka nilai tegangan akan disimpan pada register R1, jika terjadi polusi sedang dan polusi tinggi maka nilai tegangan akan disimpan pada register R2 dan R3. Setelah proses di atas maka nilai tegangan yang tersimpan pada register R0, R1, R2, R3 dan R7 ditampilkan pada layar LCD, sehingga diketahui range tegangan udara bersih, polusi rendah, polusi sedang, dan polusi tinggi.

## Hasil Analisa Rangkaian dan Pengukuran

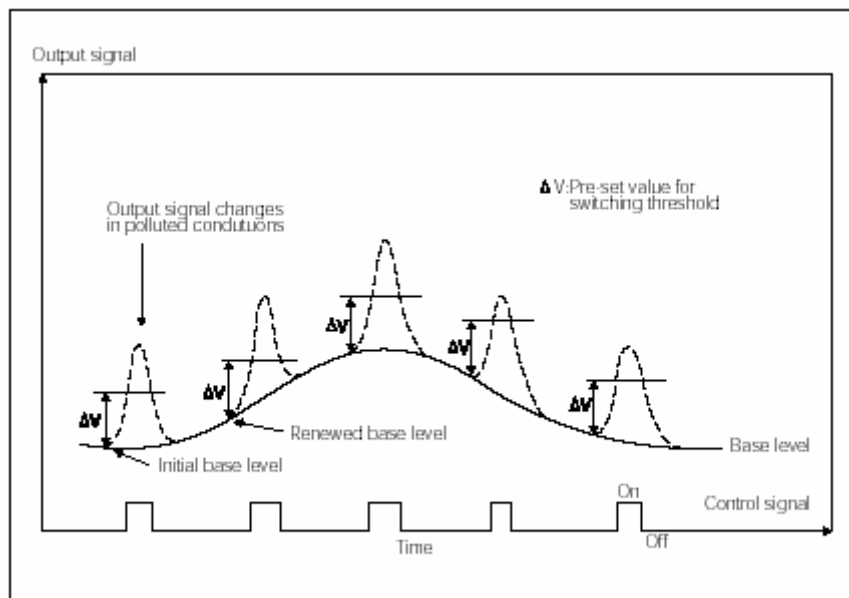
Dari tegangan yang dihasilkan hambatan  $R_L$  ( $VR_L$ ) pada sensor dan indikasi kualitas udara melalui nyala LED didapatkan hasilnya sebagai berikut:

**Tabel 8**  
Pengukuran tegangan pada hambatan  $R_L$

LED aktif	Tegangan (volt)
Hijau	0.62 – 0.67
Merah + Kuning I	0.68 – 0.71
Merah + Kuning II	0.72 – 0.79
Merah + Kuning III	0.80 – dst

Dari hasil percobaan ternyata sistem keputusan yang dimiliki oleh mikroprosesor FIC 93619A berbeda dengan metode pembagian berdasarkan range tegangan Tabel 8. Modul sensor kondisi udara ini membutuhkan suatu teknik pemrosesan sinyal.

Penentuan keputusan kondisi udara yang dihasilkan oleh mikroprosesor FIC 93619A adalah dari perhitungan rata-rata resistansi sensor yang telah disampling dalam kurun waktu tertentu. Metode *sampling* ini berguna untuk mengurangi pengaruh dari kelembaban, temperatur dan keadaan lingkungan sekitar yang berubah secara cepat. Dapat kita lihat juga bahwa base level akan selalu diperbarui jika terdapat perbedaan dari resistansi sebelumnya.



Basic diagram for air quality control system

## Algoritma Pemrosesan Sinyal untuk Sensor Gas

Kebanyakan algoritma *signal processing* untuk menentukan konsentrasi gas menggunakan tiga macam model yaitu: analisa multivariasi, model jaringan saraf, dan fuzzy logic. Dengan pemrosesan sinyal yang baik, performa sistem dapat ditingkatkan. Data kalibrasi yang cukup dapat menghasilkan input / output yang lebih baik yang dapat mengurangi efek temperatur dan keadaan non-linier. Problem akan bertambah rumit jika data kalibrasi berkurang. Masalah yang lain berhubungan dengan umur sensor dan interferensi gas-gas lain.

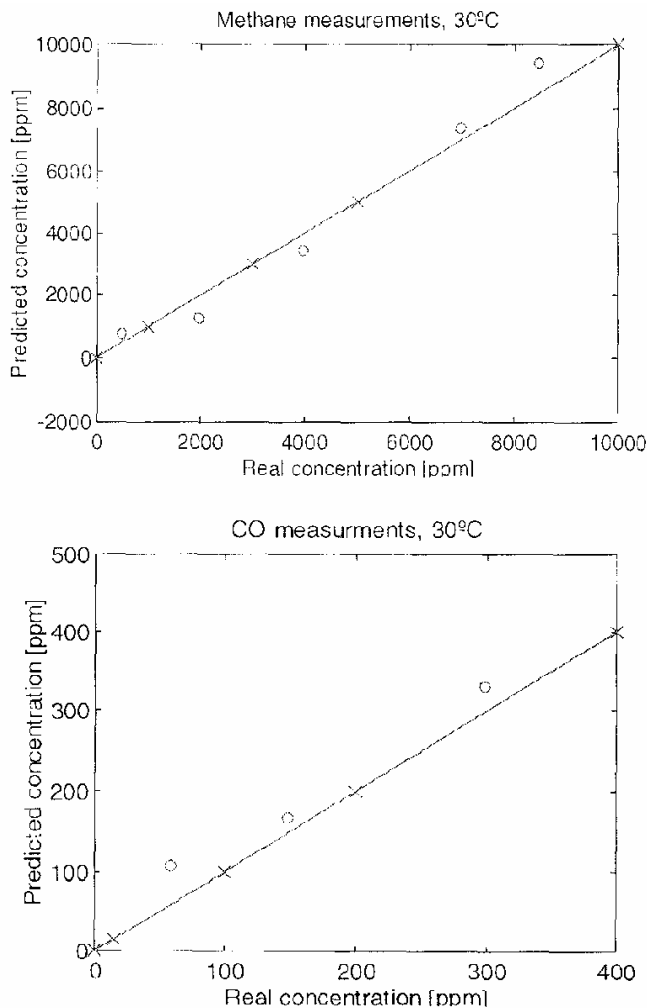
Beberapa Algoritma yang dapat digunakan pada mikrokontroler umum untuk mengukur konsentrasi gas (contoh yang digunakan adalah Gas CO & Metana / CH<sub>4</sub>):

- **Model polinomial**

Merupakan algoritma yang menggunakan variasi polinomial turunan kedua untuk tiap temperatur, dengan persamaan sbb:

$$C_i = \sum_{j=1}^2 a_{ij}(T)G_j + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{k < j} a_{ijk}(T)G_jG_k \dots\dots\dots (6)$$

Dimana i = 1,2 (CO dan CH<sub>4</sub>), G<sub>f</sub> adalah konduktansi dari sensor j. a adalah koefisien yang telah ditentukan. Hasil pengukuran dan perhitungan akan tampak pada gambar berikut.



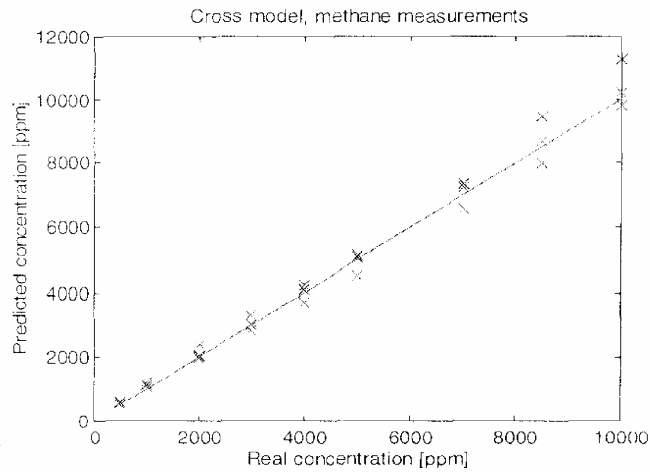
**Gambar 9**  
**Hasil pengukuran dan perhitungan CO dan CH<sub>4</sub> dengan model polinomial pada temperatur 30° C**  
**Hasil kalibrasi bertanda x, sedang hasil perhitungan bertanda o**

- **Cross model**

Permodelan berdasarkan persamaan respon sensor metal oksida, yaitu:

$$G = s_0 (1 + \alpha(T - T_0))C^b \dots\dots\dots (7)$$

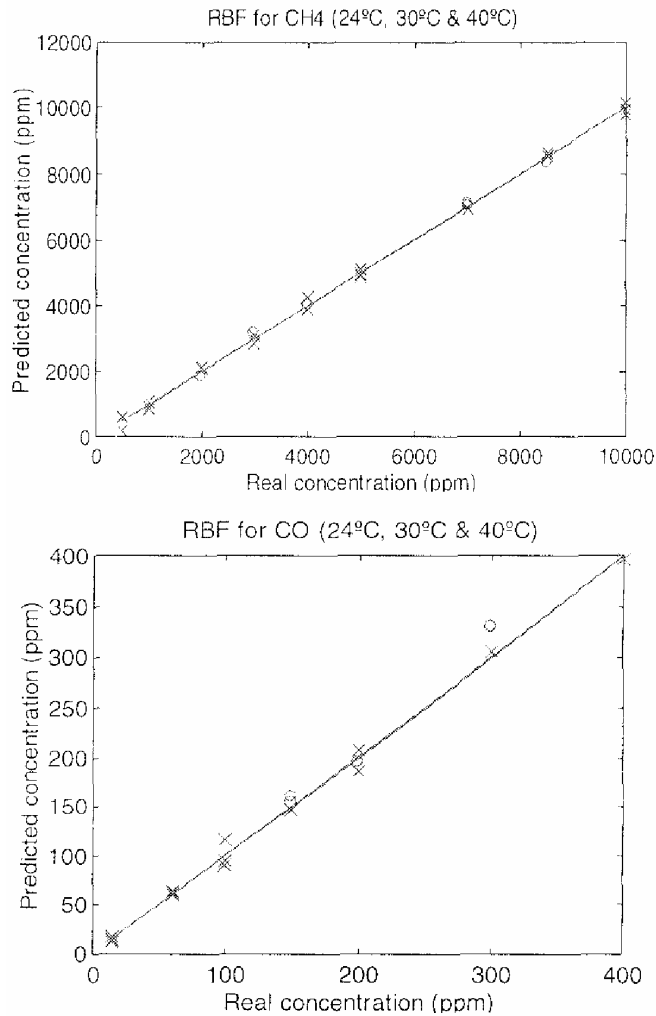
Dimana G adalah konduktansi, S<sub>a</sub> (Sensitivitas) adalah konstanta, a, dan α adalah parameter temperatur, T adalah temperatur ruangan pada derajat celcius. C adalah konsentrasi gas dan b adalah konstanta antara 0.3 dan 1.



**Gambar 10**  
**Hasil pengukuran dan perhitungan CO dan CH<sub>4</sub> dengan cross model**

- **Model jaringan saraf RBF**

Dibangun sebuah model inversi non-linear berdasarkan jaringan saraf RBF. Hasil pengukuran yang didapat setelah jaringan saraf tiruan dilatih beberapa kali sangat memuaskan. Seperti tampak pada gambar berikut.



**Gambar 11**  
**Hasil pengukuran dan perhitungan CO dan CH<sub>4</sub> dengan model jaringan saraf RBF**  
**Hasil kalibrasi bertanda x, sedang hasil perhitungan bertanda o**

Berikut ini akan ditunjukkan perbandingan antara jaringan saraf RBF dengan cross model. Jaringan saraf RBF mempunyai hasil yang presisi tetapi kalibrasinya lebih banyak dari cross model, juga pada implementasi dengan menggunakan mikrokontroler juga lebih sulit dari cross model.

**Tabel 9**  
**Perbandingan Cross model dengan Jaringan Saraf RBF**

	Cross model	Jaringan Saraf RBF
CH <sub>4</sub> Error	3,84 %	1,1 %
CO Error	13 %	3 %
Temp. Influence	+	++
N <sup>o</sup> of calibration points	+	0
Implementation facility	+	0

++ sangat bagus; + bagus; 0 biasa; - buruk; -- sangat buruk

## Kesimpulan

1. Rangkaian sensor kualitas udara ini dapat dimanfaatkan sebagai kontrol ventilasi ruangan dengan penggunaan yang mudah dan hasil yang baik.
2. Kerja sistem lebih stabil menggunakan keramik resonator dibandingkan kristal.
3. Sistem memerlukan tegangan yang stabil.
4. Mikroprosesor mempunyai sistem pemrosesan sinyal yang baik sehingga tidak memerlukan rangkaian kompensasi untuk mengatasi gangguan sensor terhadap temperatur dan kelembaban udara luar.
5. Sensor ini hanya dapat mendeteksi O<sub>2</sub> dalam gas tetapi tidak O<sub>2</sub> dalam partikel, maka dari itu disarankan menggunakan sebuah filter untuk menyaring partikel yang masuk.
6. Perlu pendalaman lebih lanjut mengenai pemrosesan sinyal jika kita ingin membuat sendiri rangkaian sensor kualitas udara tanpa menggunakan bantuan dari mikroprosesor FIC 93619A.

*L*isting program terdapat pada **AN32.ZIP**.

*S*elamat berinovasi!