



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN SISTEM DATA LOGGER
KONSENTRASI RELATIF KARBON DIOKSIDA
DALAM RUANGAN BERBASIS SENSOR GAS TGS4161**

SKRIPSI

**SUGIHARTO
0304020736**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN SISTEM DATA LOGGER
KONSENTRASI RELATIF KARBON DIOKSIDA
DALAM RUANGAN BERBASIS SENSOR GAS TGS4161**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Strata Satu Fisika**

**SUGIHARTO
0304020736**

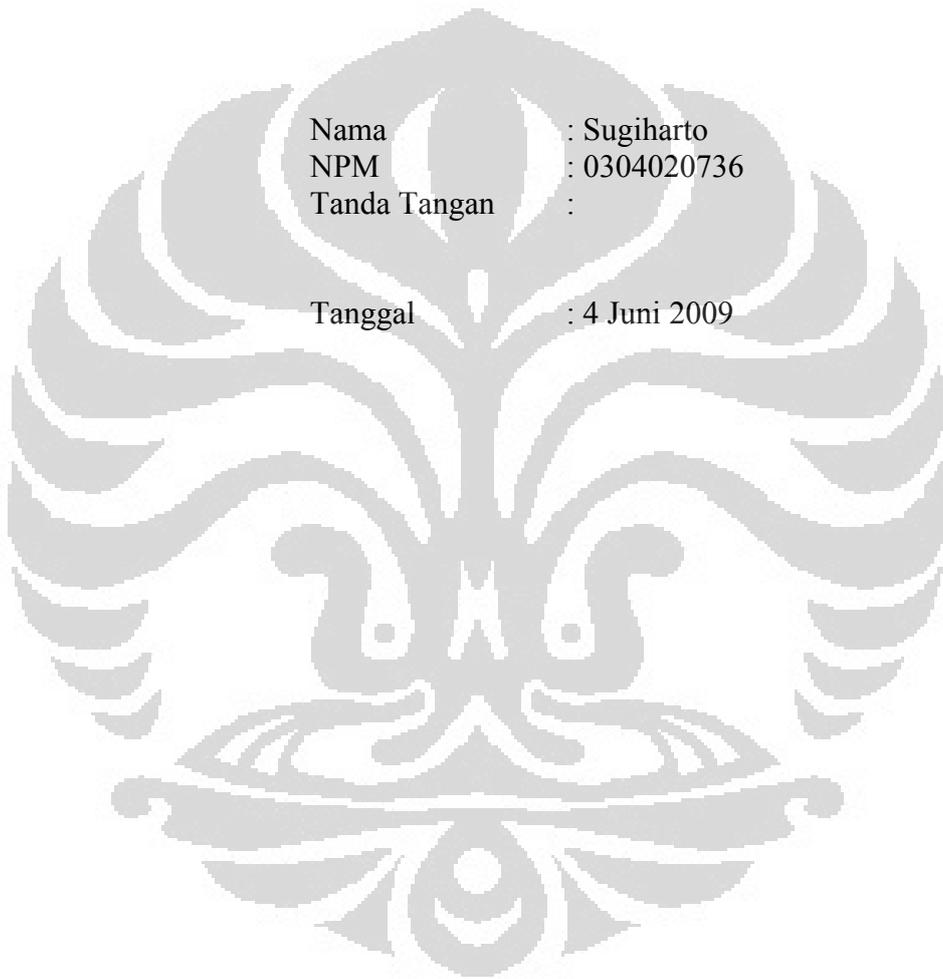
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Sugiharto
NPM : 0304020736
Tanda Tangan :

Tanggal : 4 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Sugiharto
NPM : 0304020736
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul Skripsi : Pembuatan Sistem Data Logger Konsentrasi
Relatif Karbon Dioksida Dalam Ruangan
Berdasarkan Sensor Gas TGS4161

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Prawito (.....)

Pembimbing II : Drs. Lingga Hermanto, M.Si (.....)

Penguji I : Dr. Cuk Imawan (.....)

Penguji II : Dr. Santoso Soekirno (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Rasa syukur yang mendalam penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pembuatan Sistem Data Logger Konsentrasi Relatif Karbon Dioksida Dalam Ruangan Berbasis Sensor Gas TGS4161". Shalawat serta salam kita limpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang telah memberi suri tauladan kepada kita.

Selesainya skripsi ini merupakan kebahagiaan yang sangat mendalam bagi penulis, walaupun masih terdapat banyak kekurangan pada skripsi ini, sehingga saran dan masukan dari pihak pembaca sangat diharapkan. Penulis berharap hasil skripsi ini dapat bermanfaat untuk penelitian-penelitian berikutnya. Pada kesempatan ini, dengan rasa hormat perkenankan penulis mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Dr. Prawito, selaku dosen pembimbing I yang dengan penuh selalu membimbing, mengarahkan, memberikan masukan pada saat berdiskusi, serta memotivasi penulis selama menyusun skripsi ini.
2. Drs. Lingga Hermanto, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Cuk Imawan dan Dr. Santoso Soekirno, selaku penguji I dan II yang telah meluangkan waktu untuk menguji serta mengoreksi hasil penelitian penulis, serta atas kesempatan dan waktu yang diberikan untuk berdiskusi serta saran-saran yang bermanfaat.
4. Dr. Sastra K.W, selaku Ketua Peminatan Instrumentasi atas perkuliahan yang diberikan kepada penulis.
5. Seluruh staf pengajar Departemen Fisika, Universitas Indonesia. Berkat mereka semua, penulis semakin bertambah wawasan dan memahami "fisika".

6. Seluruh Karyawan Departemen Fisika, atas bantuannya kepada penulis dalam memberikan informasi juga mempermudah mengurus surat-surat kelengkapan selama kuliah.
7. Keluarga tercinta, Bapak, Ibu, Arif yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materiil, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman satu peminatan Fisika Instrumentasi 2004: Budi Purnomojati. *Untung ada Budi !, Wah bud, kalau sampai detik-detik terakhir gak bisa juga microSDnya bisa gaswat tuh. Thanks ya buat semuanya. B-cool (Donny H.S.). Don, ajarin aku facebook donk!. Zamroni. Nginep Zam? salam ya buat tikus-tikus fislan he he he. Roni A.N. Ron, ISPO!. Ismail. Jadi bikin robot gak?. Mardhin. Btw any way busway Array udah dibayar belum? He he he.*
9. Seluruh teman angkatan 2004: Agunk (Resta), Juan, Fikri, Cenmi, Ali, Jimmi, Welly, Jaka, Wamid, Daniel, Satria, Kray, Rendi, Ubay, Maulana, Dobleh (Hadi), Robi, Ucup, Nidya, Ais, Aca, Ira, Eli, dan lain-lain yang tidak dapat penulis sebutkan. *Eh sorry ya! gak bisa kasih komen satu-persatu, bingung mau ngomong apa, pastinya aku seneng banget kuliah bareng kalian semua.*

Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat selesai. Semoga Allah membalas atas semua kebaikan yang telah diberikan.

Depok, Juni 2009

Sugiharto

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sugiharto
NPM : 0304020736
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Noneksklusif (*NON-exclusif Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pembuatan Sistem Data Logger Konsentrasi Relatif Karbon Dioksida Dalam
Ruangan Berbasis Sensor Gas TGS4161

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 4 Juni 2009

Yang menyatakan

(Sugiharto)

ABSTRAK

Nama : Sugiharto
Program Studi : Fisika
Judul : Pembuatan Sistem Data Logger Konsentrasi Relatif Karbon Dioksida Dalam Ruangan Berbasis Sensor Gas TGS4161

Sistem pemonitor konsentrasi relatif karbon dioksida dalam ruangan berbasis sensor gas TGS4161 telah berhasil dibuat. Sistem ini dikendalikan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega128. Mikrokontroler digunakan untuk mengatur keseluruhan sistem. Salah satu fungsi mikrokontroler adalah untuk mengolah GGL yang dihasilkan sensor menjadi satuan ppm. Pada sistem ini, konsentrasi CO₂ dihitung dengan cara menghitung perubahan relatif output sensor pada pengukuran saat ini dengan output sensor pada udara bersih (dianggap 400 ppm CO₂). Proses konversi ke dalam satuan ppm dilakukan dengan menggunakan hubungan linear antara ΔGGL dengan konsentrasi CO₂ pada skala logaritmik. Dengan demikian perhitungan konsentrasi absolut karbon dioksida tidak dapat dilakukan. Sistem ini mampu menghitung konsentrasi relatif karbon dioksida dari 400 ppm sampai 10.000 ppm. Hasil perhitungan kemudian ditampilkan dengan menggunakan LCD 2x16. Sistem yang dibuat ini dilengkapi dengan data logger untuk menyimpan data-data yang dibaca oleh mikrokontroler. Data-data ini disimpan ke dalam microSD card sehingga dapat diolah lebih lanjut menggunakan PC. Sistem ini juga berfungsi sebagai kontrol ventilasi udara secara otomatis.

Kata kunci: TGS4161, ATmega128, microSD, karbon dioksida, CO₂

ABSTRACT

Name : Sugiharto
Department : Physics
Topic : Design of Indoor Carbon Dioxide Relative Concentration Data
Logger Based on the TGS4161 Gas Sensor

An indoor carbon dioxide monitoring system has been successfully constructed using a TGS4161 gas sensor. This system is controlled using ATmega128 microcontroller. Microcontroller used to control the whole system. One of the task is for converting EMF which is produced by a sensor into ppm unit. In this system, the CO₂ concentration is calculated by measuring the relative change of sensor output at the measuring point from sensor output in clean air (assumed to be 400ppm of CO₂). Conversion into ppm unit is done by using relationship between Δ EMF and CO₂ gas concentration on a logarithmic scale. Thus, absolute concentration measurement can not be done. This system is able to calculate the relative concentration of carbon dioxide from 400 ppm to 10,000 ppm. Calculation results are then displayed using 2x16 LCD. This system is equipped with data logger to store the data read by microcontroller. The data can be stored in microSD card for further processing using PC. This system also can be used as automatic ventilation control.

Keywords: TGS4161, ATmega128, microSD, carbon dioxide, CO₂

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Metodologi Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TEORI DASAR.....	8
2.1 Seputar Karbon Dioksida	8
2.2 Bahaya Karbon Dioksida	9
2.3 Persamaan Nernst dan Hukum Faraday	11
2.4 Sensor Gas Karbon Dioksida	14
2.4.1 <i>Sensing Element</i> TGS4161.....	14
2.4.2 NASICON	14
2.4.3 Prinsip Kerja Sensor	15
2.5 Penguat <i>Non-Inverting</i>	17
2.6 Mikrokontroler ATmega128.....	19
2.6.1 Spesifikasi ATmega128.....	20
2.6.2 Serial Peripheral Interface (SPI).....	20
2.6.3 <i>Analog to Digital Converter</i> (ADC).....	24
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM.....	28
3.1 Perancangan Perangkat Keras.....	28
3.1.1 TGS4161.....	29
3.1.2 Pengkondisi Sinyal	32
3.1.3 Perancangan Sistem Minimum Atmega128.....	34
3.1.4 Perancangan Antarmuka EMS SD MMC FRAM	36
3.1.5 Perancangan Antarmuka LCD Karakter 16x2.....	39
3.1.6 Perancangan Antarmuka Keypad 4x4.....	41
3.1.7 Perancangan Catu Daya	42
3.1.8 Perancangan sistem pemonitor CO ₂	43
3.2 Perancangan Program.....	44
3.3 Perangkat pendukung	46

3.3.1	BASCOM.....	46
3.3.2	AVRDOS	47
3.3.3	USB AVR ISP Downloader.....	47
3.2	Prinsip Kerja Rancangan Secara Umum	49
BAB 4	PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1	Pengujian Perangkat Keras.....	50
4.1.1	Pengujian Catu Daya.....	50
4.1.2	Pengujian Pengkondisi Sinyal (TLC271).....	51
4.1.3	Pengujian Modul Relay.....	53
4.1.4	Pengujian RTC ATmega128, Keypad 4x4, dan LCD... ..	53
4.1.5	Pengujian Modul EMS SD/MMC/FRAM	54
4.1.6	Pengujian ADC.....	55
4.1.7	Uji Kestabilan ADC	58
4.2	Pengujian Sistem Data Logger	59
4.3	Karakterisasi Sensor	64
4.3.1	Pengambilan Data dengan Sensor Diletakkan pada Ruang Tertutup	64
4.3.2	Pengambilan Data di Dalam Ruangan	67
4.3.3	Pengambilan Data di Luar Ruangan	68
4.3.4	Ggl TGS4161 yang Lebih Rendah Pada Proses Pemanasan	72
4.3.5	Ggl TGS4161 yang Lebih Tinggi Pada Proses Pemanasan	73
4.3.6	Tegangan yang Jatuh Drastis pada Waktu yang Singkat ..	74
4.4	Algoritma Sistem.....	75
4.5	Eksperimen.....	86
4.5.1	Pengujian dengan Memberikan Udara Sisa Pernafasan Manusia	86
4.5.2	Proses Pengujian dengan Menggunakan Lilin dalam Gelas	88
4.5.3	Pengujian dengan Minuman Bersoda	89
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	91
	DAFTAR REFERENSI.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	In Situ CO ₂ Spectrometer.....	2
Gambar 1.2	Mikrograf Sensor CO ₂ yang Diproduksi dengan Evaporasi NASICON dan Film Tebal yang Dicitak pada Sodium Carbonate (1.4 mm × 1.5 mm).....	3
Gambar 1.3	Diagram langkah-langkah penelitian.....	6
Gambar 2.1	Grafik Konsentrasi & Emisi CO ₂ Tahun 1860-2000.....	9
Gambar 2.2	Sel Galvani atau Sel Volta.....	12
Gambar 2.3	Struktur NaZr ₂ (PO ₄) ₃	15
Gambar 2.4	Diagram Skematik Mekanisme Sensing Sensor pada konsentrasi CO ₂ (a) rendah (b) tinggi.....	16
Gambar 2.5	Perubahan Shift Register Saat Komunikasi SPI.....	22
Gambar 2.6	Koneksi SPI Saat Menggunakan 1 Slave.....	23
Gambar 2.7	Koneksi SPI Saat Menggunakan 2 Slave.....	23
Gambar 3.1	Blok sistem pemonitor CO ₂	28
Gambar 3.2	TGS4161.....	29
Gambar 3.3	Struktur TGS4161.....	30
Gambar 3.4	Sirkuit Dasar Pengukuran.....	32
Gambar 3.5	TLC271.....	33
Gambar 3.6	Non inverting Amplifier.....	33
Gambar 3.7	Rangkaian Minimum Sistem ATmega128.....	35
Gambar 3.8	Tata Letak EMS SD/MMC/FRAM.....	37
Gambar 3.9	Skematik EMS SD/MMC/FRAM.....	37
Gambar 3.10	Konfigurasi Pin dan Jumper.....	37
Gambar 3.11	Koneksi EMS SD/MMC/FRAM dengan ATmega128.....	39
Gambar 3.12	Tampilan LCD 16 x 2.....	39
Gambar 3.13	Koneksi LCD dengan ATmega128.....	41
Gambar 3.14	Matrix keypad 4x4.....	41
Gambar 3.15	Koneksi Keypad dengan ATmega128.....	42
Gambar 3.16	Rangkaian Catu Daya.....	43
Gambar 3.17	Skematik Blok Sensor.....	44
Gambar 3.18	Rangkaian Relay, Sensor suhu, dan sensor CO ₂	44
Gambar 3.19	Diagram Alir Sistem.....	45
Gambar 3.20	Halaman editor BASCOM-AVR.....	47
Gambar 3.21	USB AVR ISP Downloader.....	48
Gambar 3.22	Halaman muka Avr-Osp II.....	48
Gambar 4.1	Vout L7805CV, 2V/div.....	50
Gambar 4.2	Pengujian <i>Noise</i> L7805CV, 5mV/div, 0,2μs.....	51
Gambar 4.3	Pengujian Pengkondisi Sinyal (TLC271) dengan Menggunakan 2 Jenis Multimeter Digital.....	52
Gambar 4.4	Grafik Vin vs Vout TLC271.....	52
Gambar 4.5	Tampilan Awal LCD Pengujian RTC dan Keypad.....	53
Gambar 4.6	Tampilan LCD Saat Akan Memasukkan Jam.....	53
Gambar 4.7	Tampilan LCD Setelah Set Waktu dan Tanggal.....	54
Gambar 4.8	Nilai ADC vs Vin 1x Sampling.....	56
Gambar 4.9	Rekaman Nilai ADC pada 1x Sampling.....	56

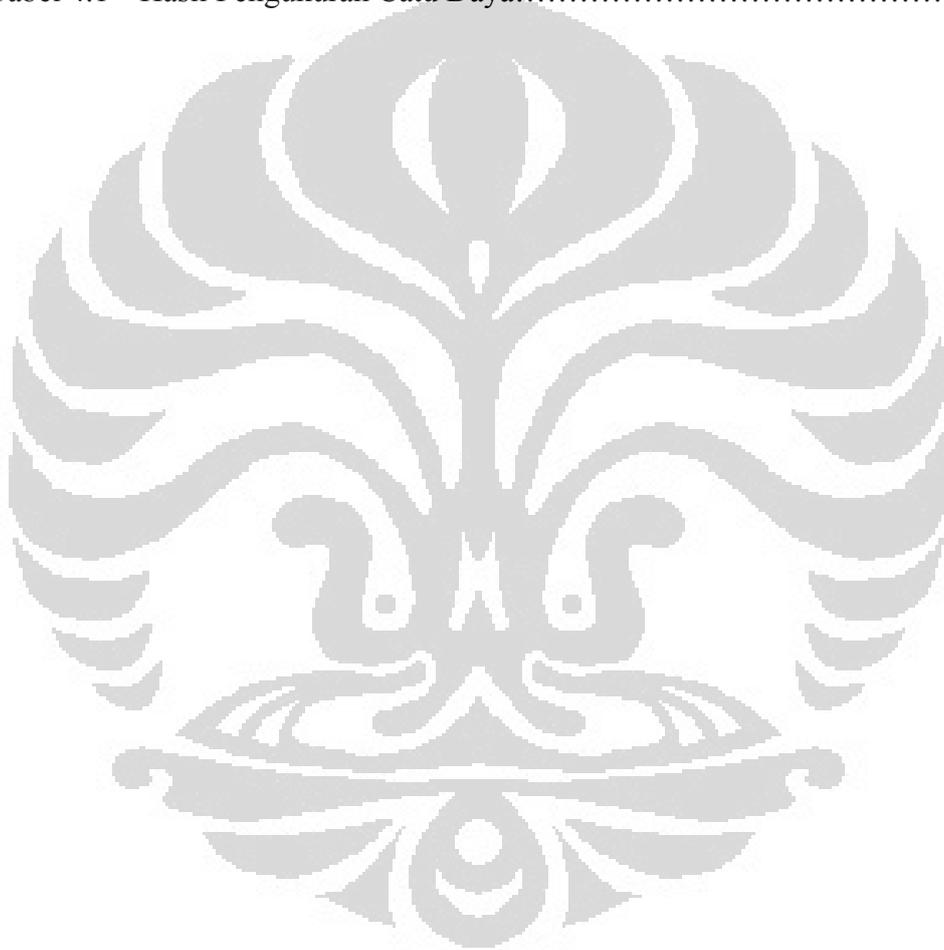
Gambar 4.10	Rekaman Nilai ADC pada 50x Sampling.....	57
Gambar 4.11	Nilai ADC vs Vin (50x Sampling).....	58
Gambar 4.12	Uji Kestabilan ADC Terhadap Pertambahan Waktu.....	59
Gambar 4.13	Sistem Data Logger.....	62
Gambar 4.14	Proses Input Waktu dan Tanggal.....	62
Gambar 4.15	Proses Pengambilan Data Berlangsung.....	62
Gambar 4.16	Tombol Reset dan Safely Remove.....	63
Gambar 4.17	Struktur Folder, File, dan Data pada MicroSD Card.....	63
Gambar 4.18	Konversi File csv ke Excel.....	64
Gambar 4.19	Karakterisasi Sensor dengan Diletakkan dalam Kantong Plastik.....	65
Gambar 4.20	Grafik CO ₂ dan Temperatur Ketika Sensor Dioperasikan Pada Tempat yang Tertutup.....	66
Gambar 4.21	Proses Pengambilan Data di Dalam Ruangan.....	67
Gambar 4.22	Grafik Pengambilan Data di Dalam Ruangan pada Tanggal 27-5-09.....	67
Gambar 4.23	Grafik Pengambilan Data di Dalam Ruangan pada Tanggal 21-5-09.....	68
Gambar 4.24	Proses Pengambilan Data di Luar Ruangan.....	68
Gambar 4.25	Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 29-5-09.....	69
Gambar 4.26	Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 30-5-09.....	70
Gambar 4.27	Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 31-5-09.....	71
Gambar 4.28	Pengaruh Suhu Terhadap Ggl Sensor pada Konsentrasi CO ₂ Tetap.....	72
Gambar 4.29	Ggl TGS4161 yang Lebih Rendah Pada Proses Pemanasan.....	73
Gambar 4.30	Ggl TGS4161 yang Lebih Tinggi Pada Proses Pemanasan 1.....	73
Gambar 4.31	Ggl TGS4161 yang Lebih Tinggi Pada Proses Pemanasan 2.....	74
Gambar 4.32	Ggl yang Jatuh Drastis pada Waktu yang Singkat.....	74
Gambar 4.33	Ppm yang Naik Drastis pada Waktu yang Singkat.....	75
Gambar 4.34	Menentukan Level Referensi pada Program.....	76
Gambar 4.35	Sensitifitas Terhadap Macam-macam Gas.....	78
Gambar 4.36	Proses rekonstruksi Grafik.....	79
Gambar 4.37	Grafik Δ ggl Fungsi ppm pada Skala Linear.....	79
Gambar 4.38	Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan <i>Fitting</i> Orde 2.....	80
Gambar 4.39	Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan <i>Fitting</i> Orde 3.....	80
Gambar 4.40	Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan <i>Fitting</i> Orde 4.....	81
Gambar 4.41	Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan <i>Fitting</i> Orde 5.....	81
Gambar 4.42	Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan <i>Fitting</i> Orde 6.....	81

Gambar 4.43	Simulasi dengan Menggunakan Fasilitas yang ada pada Bascom AVR.....	82
Gambar 4.44	Grafik Data Asli vs Persamaan.....	83
Gambar 4.45	Grafik Perhitungan Nilai ppm Dari Data pada Gambar 4.23.....	83
Gambar 4.46	Ilustrasi Ketika Ambang Batas Dilewati.....	84
Gambar 4.47	Detail Sub Program Ventilasi Otomatis.....	85
Gambar 4.48	Ilustrasi Pengujian dengan Memberikan Udara Sisa Pernafasan Manusia.....	86
Gambar 4.49	Grafik Pengujian dengan Memberikan Udara Sisa Pernafasan Manusia.....	87
Gambar 4.50	Grafik Konsentrasi Sebagai Fungsi Waktu dengan Jumlah Orang yang Berada dalam Ruangan.....	87
Gambar 4.51	Proses Pengujian dengan Menggunakan Lilin dalam Gelas.....	88
Gambar 4.52	Grafik Pengujian dengan Menggunakan Lilin dalam Gelas.....	89
Gambar 4.53	Proses Pengujian dengan Minuman Bersoda.....	89
Gambar 4.54	Grafik Hasil Pengujian dengan Minuman Bersoda.....	90



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	ADCSRA (A/D Control and Status Register).....	25
Tabel 2.2	ADMUX (A/D Multiplexer Select Register).....	25
Tabel 2.3	Pengukuran Single-Ended vs Pengukuran Diferensial.....	27
Tabel 3.1	Kondisi Operasi Sensor.....	31
Tabel 3.2	Spesifikasi Sensor.....	31
Tabel 3.3	Penggunaan Port ATmega128 pada Sistem yang Dibuat.....	35
Tabel 3.4	Keterangan Pin.....	38
Tabel 3.5	Keterangan Pin LCD Karakter.....	39
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Catu Daya.....	50



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akhir-akhir ini bangunan modern cenderung menjadi lebih kedap terhadap udara luar, terutama pada bangunan yang menggunakan pendingin udara (*air conditioner*). Ruangan dengan pendingin udara biasanya dibuat sangat kedap terhadap udara luar, hal ini dilakukan untuk menjaga udara di dalam ruangan tetap sejuk. Akan tetapi, kondisi seperti ini menyebabkan sirkulasi udara tidak berjalan dengan baik, sebab udara yang bersirkulasi dalam ruangan tersebut adalah udara yang sama, karena tidak adanya pergantian udara dalam ruangan dengan udara luar, ini berarti akan terjadi akumulasi karbon dioksida yang dihasilkan oleh sisa pernafasan manusia. Konsentrasi karbon dioksida yang tinggi dapat menimbulkan perasaan letih, mengganggu konsentrasi, bahkan dapat menimbulkan sakit kepala (CO₂ measurement, 2008). Pada kenyataannya manusia tidak dapat merasakan akumulasi karbon dioksida tersebut karena karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau (Redmond, 2006). Dengan adanya fakta-fakta tersebut maka diperlukan sistem yang mampu memonitor kadar karbon dioksida dalam ruangan yang mampu membuka ventilasi udara ketika terjadi akumulasi karbon dioksida dalam ruangan tersebut.

Untuk membuat sistem tersebut diperlukan sensor yang mampu mendeteksi karbon dioksida. Salah satu metode yang dikenal baik untuk mengukur konsentrasi CO₂ adalah dengan metode NDIR (*Non-Dispersive Infrared Absorption*) (CO₂ measurement, 2008). Metode ini memanfaatkan fenomena bahwa CO₂ menyerap sinar inframerah dengan panjang gelombang 4270 nm. Dengan menggunakan metode ini memungkinkan kita melakukan pengukuran tekanan parsial CO₂ dengan sangat sensitif dan akurat terutama pada konsentrasi tinggi. Sayangnya, untuk pengukuran CO₂ pada konsentrasi rendah diperlukan lintasan optik yang cukup panjang untuk melewati gas, sehingga bentuk fisik sensor akan menjadi cukup besar (Voit, 2004). Disamping itu dibutuhkan juga presisi optik yang tinggi sehingga memerlukan biaya yang sangat tinggi. Sistem seperti ini biasanya hanya ada di lab, sehingga penggunaan untuk

aplikasi pemonitor karbon dioksida dalam ruangan sangat tidak ekonomis (Joly, 2007).



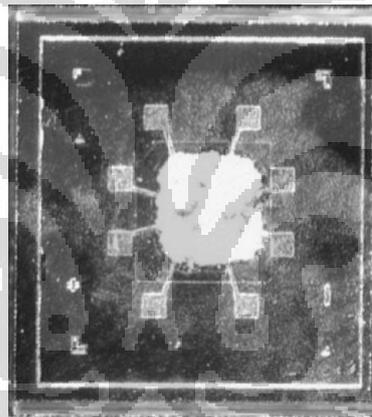
Gambar 1.1 In Situ CO₂ Spectrometer

Sumber: Joly, 2007, p. 747

Jenis sensor lainnya adalah sensor gas karbon dioksida dengan elektrolit basah, bentuknya lebih kecil (*compact*) namun stabilitas serta daya tahannya rendah sehingga kurang cocok untuk memonitor karbon dioksida dalam jangka waktu panjang. Sensor gas dengan elektrolit padat akan lebih cocok. Namun, pada saat pertama kali dikembangkan stabilitas serta outputnya sangat bergantung pada kelembaban udara sekitar, oleh karena itu efektifitas produksi masih sulit dicapai (CO₂ measurement, 2008). Untungnya pada saat ini perkembangan teknologi pembuatan sensor elektrolit padat sudah semakin maju sehingga kendala yang dihadapi pada waktu itu dapat diatasi. *Sensing element* sensor jenis ini umumnya memiliki dimensi yang kecil seperti diperlihatkan pada gambar 1.2.

Untuk dapat melakukan proses monitoring karbon dioksida, khususnya untuk aplikasi kontrol ventilasi udara, diperlukan karakteristik sensor yang stabil, dapat digunakan dalam jangka waktu lama, harga yang ekonomis, serta ukuran yang tidak terlalu besar. Sehingga pada penelitian ini dipilih sensor gas karbon dioksida TGS4161 yang dipabrikasi oleh FIGARO Engineering Inc. dikarenakan sensor ini memenuhi spesifikasi yang diperlukan. Berdasarkan karakteristik yang dapat dilihat pada *datasheet* sensor ini, disebutkan bahwa sensor ini mampu

mendeteksi karbon dioksida dari 350-10.000 ppm. Namun sayangnya sensor ini tidak dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi absolut karbon dioksida, sebab metode yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi karbon dioksida pada sensor ini adalah dengan mengasumsikan bahwa konsentrasi karbon dioksida pada udara normal sekitar 400 ppm (Figaro, 2004) lalu untuk mengetahui konsentrasi karbon dioksida pada saat pengukuran harus membandingkan dengan grafik yang ada pada *datasheet* sensor. Oleh karena itu dalam pembuatan sistem ini diperlukan karakterisasi sensor terlebih dahulu untuk mengetahui perumusan seperti apa yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan konsentrasi. Karena proses pengamatan nilai yang terbaca dari TGS4161 tidak mungkin dilakukan secara terus menerus oleh karena itu perlu dibuat juga sistem *data logger* yang berfungsi untuk merekam nilai-nilai tersebut.



Gambar 1.2 Mikrograf Sensor CO₂ yang Diproduksi dengan Evaporasi NASICON dan Film Tebal yang Dicitak pada Sodium Carbonate (1.4 mm × 1.5 mm)

Sumber: Ward, 2003, p. 4291

Dengan dibuatnya sistem ini diharapkan dapat menghindarkan kita dari pengaruh buruk akibat terpapar karbon dioksida pada konsentrasi tinggi dalam jangka waktu yang lama, hal ini karena kita akan mendapatkan peringatan dini ketika kondisi tersebut terjadi.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- Membuat sistem yang mampu memonitor kadar karbon dioksida dalam ruangan
- Membuat sistem yang dapat mengatur ventilasi udara berdasarkan kadar karbon dioksida
- Mempelajari sensor gas, khususnya sensor gas CO₂ dengan jenis elektrolit padat
- Memahami karakteristik sensor gas TGS4161
- Mempelajari mikrokontroler untuk digunakan pada aplikasi penelitian ini
- Mempelajari cara pengkondisian sinyal dari sensor yang digunakan
- Mempelajari cara pengolahan sinyal dari sensor yang digunakan
- Mempelajari cara penyimpanan data ke dalam memori jenis microSD dengan menggunakan mikrokontroler

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sistem pemonitor karbon dioksida dalam ruangan berbasis sensor gas TGS4161 disertai sistem penyimpanan data ke dalam *microSD Card*. Penelitian ini berfokus untuk membuat sistem yang mampu memonitor konsentrasi relatif karbon dioksida dalam ruangan dengan menggunakan sensor gas TGS4161. Sistem ini dikendalikan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 128. Data yang dibaca dari sensor gas TGS4161 diolah dengan menggunakan mikrokontroler sebelum dapat ditampilkan dalam bentuk ppm. Perhitungan konsentrasi karbon dioksida dilakukan dengan membandingkan data yang didapatkan dengan grafik yang ada pada *datasheet* sensor. Dengan demikian tidak dapat diharapkan menghitung konsentrasi CO₂ secara absolut. Hasil perhitungan kemudian ditampilkan dengan menggunakan LCD 2x16. Sistem yang dibuat ini dilengkapi dengan *data logger* untuk menyimpan data-data yang dibaca oleh mikrokontroler. Data-data ini disimpan ke dalam microSD card untuk memudahkan pengolahan dengan PC. Sistem ini juga berfungsi sebagai kontrol ventilasi udara secara otomatis.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap antara lain :

1. Studi Literatur

Metode Studi Literatur ini digunakan penulis untuk memperoleh teori-teori dasar sebagai sumber dan acuan dalam penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet, *datasheet* dan buku-buku yang berhubungan dengan tugas akhir penulis.

2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan alat merupakan tahap awal penulis untuk mencoba, memahami, menerapkan dan menggabungkan semua literatur yang telah diperoleh dan dipelajari untuk melengkapi sistem serupa yang pernah dikembangkan, sehingga untuk selanjutnya penulis dapat merealisasikan sistem sesuai dengan tujuan.

3. Pengujian Sistem

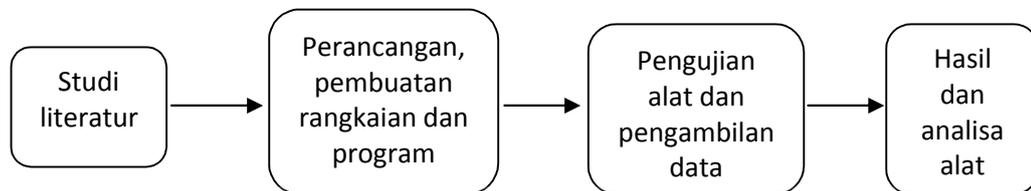
Pengujian sistem ini berkaitan dengan pengujian alat serta pengambilan data dari alat yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing alat, sehingga dapat diketahui bagaimana kinerja alat dan sejauh mana tingkat keakuratan dari alat yang telah dibuat.

4. Metode Analisis

Metode ini merupakan pengamatan terhadap data yang telah diperoleh dari pengujian alat serta pengambilan data. Setelah itu dilakukan penganalisaan sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

5. Dalam penelitian ini diperlukan pembuatan alat yang saling mendukung satu sama lain. Yang pertama diperlukan adalah pembuatan *data logger* yang digunakan untuk mengetahui karakteristik sensor yang selanjutnya digunakan untuk menentukan algoritma yang sesuai untuk mengendalikan sensor. Dan pada produk akhir *data logger* ini digunakan untuk melakukan pencatatan waktu serta konsentrasi CO₂ pada saat itu.

Berikut ini adalah diagram langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini



Gambar 1.3 Diagram langkah-langkah penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari bab-bab yang memuat beberapa sub-bab. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka penulisan skripsi ini terdiri atas 5 bab dan secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

BAB 2 TEORI DASAR

Teori Dasar berisi landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan alat (perangkat keras) serta pembuatan program.

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

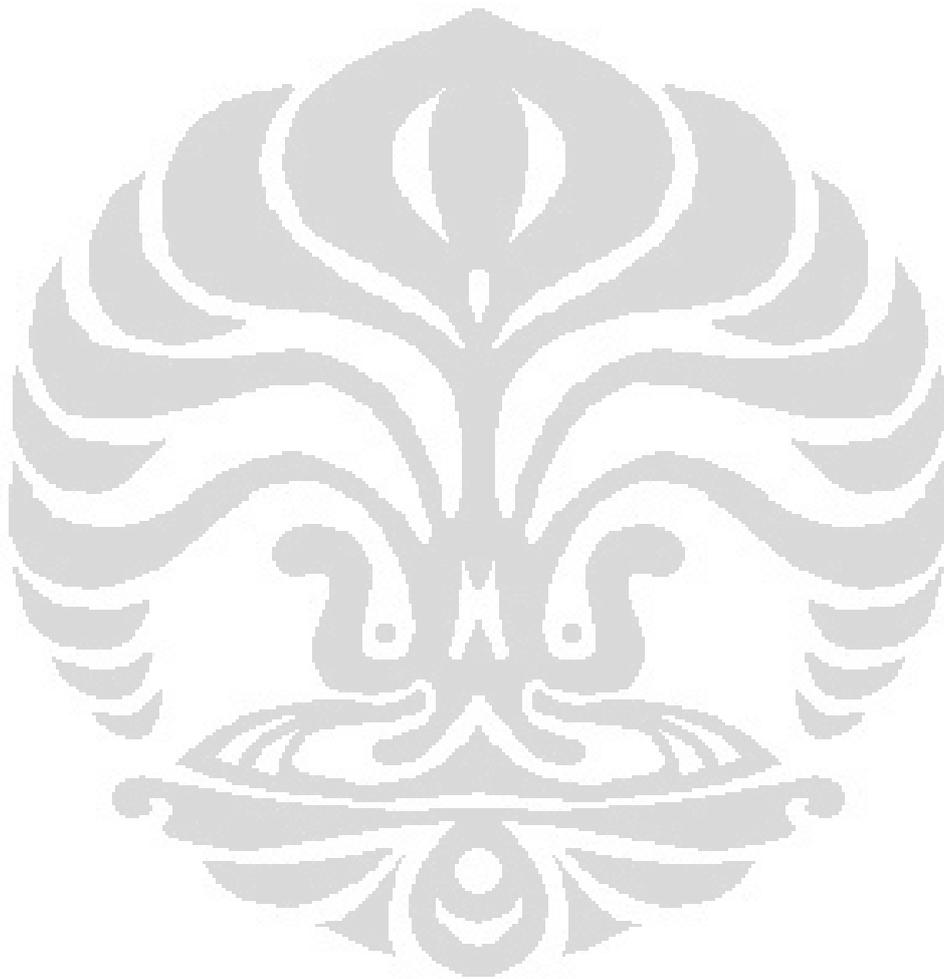
Pada bab ini akan dijelaskan sistem kerja keseluruhan dari semua perangkat keras dan program untuk mengendalikan sistem.

BAB 4 PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang unjuk kerja alat sebagai hasil dari perancangan sistem. Pengujian akhir ini dilakukan dengan menyatukan seluruh bagian dari sistem sehingga dapat diketahui apakah sistem dapat berfungsi dengan baik. Setelah sistem dapat bekerja dengan baik maka dilakukan pengambilan data untuk menentukan kapabilitas dari sistem yang dibangun.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kesimpulan dan saran ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan pengujian sistem dan pengambilan data selama penelitian berlangsung, selain itu bab ini juga berisikan tentang saran-saran dari penulis untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini baik dari perangkat keras maupun program.



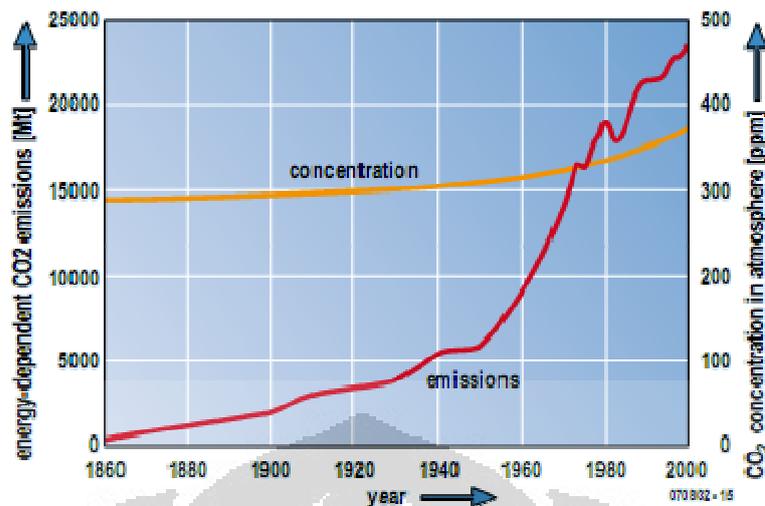
BAB 2 **TEORI DASAR**

2.1 Seputar Karbon Dioksida

Karbon dioksida atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Satu meter kubik karbon dioksida memiliki massa sekitar 2 kg, pada volume yang sama udara memiliki massa sekitar 1.3 kg (CO₂ measurement, 2008). Ini berarti karbon dioksida sekitar 1,5 kali lebih rapat daripada udara. Karbon dioksida larut dalam air; 0,9 volume gas larut dalam 1 volume air pada suhu 20°C (68°F) (Redmond, 2006). Karbon dioksida tidak mempunyai bentuk cair pada tekanan di bawah 5,1 atm namun langsung menjadi padat pada temperatur di bawah -78°C (Wikipedia, n.d.). Dalam bentuk padat, karbon dioksida umumnya disebut sebagai es kering.

Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, tumbuh-tumbuhan, fungi, dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Oleh karena itu, karbon dioksida merupakan komponen penting dalam siklus karbon. Karbon dioksida juga dihasilkan dari hasil samping pembakaran bahan bakar fosil. Karbon dioksida anorganik dikeluarkan dari gunung berapi dan proses geotermal lainnya seperti pada mata air panas.

Rata-rata konsentrasi karbon dioksida di atmosfer bumi kira-kira 387 ppm (CO₂ measurement, 2008; Wikipedia, n.d.; Redmond, 2006), namun jumlah ini bisa bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu. Sejak dimulainya era industrialisasi di Eropa pada awal abad ke-19 konsentrasi karbon dioksida di atmosfer terus meningkat sebagai hasil aktifitas manusia menggunakan bahan bakar fosil. Membakar satu liter solar menghasilkan energi sekitar 10 kWh dan 2,6 kg CO₂; membakar 0,9 m³ gas alam menghasilkan 10 kWh energi dan 2,1 kg CO₂. Emisi karbon dioksida seluruh dunia diperkirakan mencapai 36 miliar ton setiap tahunnya (CO₂ measurement, 2008). Tingkat karbon dioksida saat ini adalah yang tertinggi selama 400 ribu tahun terakhir, apabila dikombinasikan dengan gas rumah kaca lainnya seperti metana (terutama berasal dari pertanian) merupakan faktor utama penyebab pemanasan global (CO₂ measurement, 2008).



Gambar 2.1 Grafik Konsentrasi & Emisi CO₂ Tahun 1860-2000

Sumber: <http://www.volker-quaschnig.de>

Pada gambar 2.1 rata-rata konsentrasi CO₂ seluruh dunia (per volume) sekitar 380 ppm (1 ppm, part per million, atau 0,0001 %). Kondisi ini terus meningkat antara 1,5 sampai 2 ppm per tahun (Redmond, 2006). Bila dibandingkan, konsentrasi CO₂ 20.000 tahun yang lalu diperkirakan hanya 220 ppm, dan mendekati awal era industri (1850) sekitar 260 ppm (CO₂ measurement, 2008). Konsentrasi pada area perkotaan tentu saja lebih tinggi dari 380 ppm, sebagian besar merupakan hasil dari sistem pemanas gedung dan kemacetan. Umumnya sekitar 700 ppm atau lebih.

Pada area tertutup, nilainya kadang melebihi 700 ppm, terutama ketika banyak orang berkumpul pada satu ruangan yang sama. Konsentrasi CO₂ dalam udara yang dihasilkan dari pernafasan manusia sekitar 4 sampai 5 % (CO₂ measurement, 2008). Karbon dioksida (CO₂) bukan hanya ancaman terhadap lingkungan, melainkan faktor penting yang kadang diabaikan dalam menentukan kualitas udara, baik di dalam kantor maupun di dalam rumah.

2.2 Bahaya Karbon Dioksida

Lalu, apakah dampaknya bagi kesehatan manusia? Pada konsentrasi normal karbon dioksida tidak beracun. Konsentrasi maksimum yang diizinkan pada tempat kerja di UK adalah 0,5 % atau 5000 ppm (CO₂ measurement, 2008). Berada dalam konsentrasi 15000 ppm atau 1,5 % dalam jangka waktu yang singkat diperbolehkan. CO₂ yang berikatan dengan hemoglobin darah dapat

membuat darah menjadi asam yang akan berdampak buruk pada jangka waktu yang panjang, seperti perasaan letih, mengganggu konsentrasi. Jika sudah mencapai kadar 20.000 ppm akan menimbulkan sesak nafas dan sakit kepala. Sedangkan pada kadar 100.000 ppm hanya dalam beberapa menit bisa mengakibatkan sesak nafas dan koma. Tetapi jika dibawah 100.000 ppm, hanya mengakibatkan sesak, sakit kepala, pusing, gelisah, dan badan tidak enak (Voit, 2004).

Menurut Otoritas Keselamatan Maritim Australia (Davidson, 2003), paparan berkepanjangan terhadap konsentrasi karbon dioksida yang sedang dapat menyebabkan asidosis dan efek-efek merugikan pada metabolisme kalsium fosforus yang menyebabkan peningkatan endapan kalsium pada jaringan lunak. Karbon dioksida beracun kepada jantung dan menyebabkan menurunnya gaya kontraktil. Pada konsentrasi tiga persen berdasarkan volume di udara, ia bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah dan denyut nadi, dan menyebabkan penurunan daya dengar. Pada konsentrasi sekitar lima persen berdasarkan volume, ia menyebabkan stimulasi pusat pernafasan, pusing-pusing, kebingungan, dan kesulitan pernafasan yang diikuti sakit kepala dan sesak nafas. Pada konsentrasi delapan persen, ia menyebabkan sakit kepala, keringatan, penglihatan buram, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama lima sampai sepuluh menit (Lambertsen, 1971).

Oleh karena bahaya kesehatan yang diasosiasikan dengan paparan karbon dioksida, Administrasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Amerika Serikat menyatakan bahwa paparan rata-rata untuk orang dewasa yang sehat selama waktu kerja 8 jam sehari tidak boleh melebihi 5.000 ppm (0,5%). Batas aman maksimum untuk balita, anak-anak, orang tua, dan individu dengan masalah kesehatan kardiopulmonari (jantung dan paru-paru) secara signifikan lebih kecil. Untuk paparan dalam jangka waktu pendek (di bawah 10 menit), batasan dari Institut Nasional untuk Kesehatan dan Keamanan Kerja Amerika Serikat (NIOSH) adalah 30.000 ppm (3%). NIOSH juga menyatakan bahwa konsentrasi karbon dioksida yang melebihi 4% adalah langsung berbahaya bagi keselamatan jiwa dan kesehatan (Occupational Safety, 2008).

Adaptasi terhadap peningkatan kadar CO₂ dapat terjadi pada manusia. Inhalasi CO₂ yang berkelanjutan dapat ditoleransi pada konsentrasi inspirasi tiga persen paling sedikit selama satu bulan dan empat persen konsentrasi insiparsi selama lebih dari satu minggu. Diajukan juga bahwa konsentrasi insipirasi sebesar 2,0 persen dapat digunakan untuk ruangan tertutup (seperti kapal selam) oleh karena adaptasi ini bersifat fisiologis dan reversible (Glatte et al., 1967). Penurunan kinerja atau pada aktivitas fisik yang normal tidak terjadi pada tingkat konsentrasi ini.

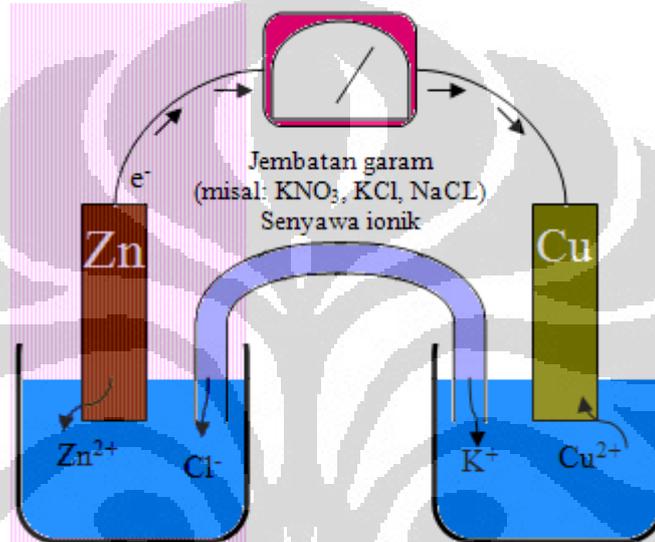
Gambaran-gambaran ini berlaku untuk karbon dioksida murni. Dalam ruangan tertutup yang dipenuhi orang, konsentrasi karbon dioksida akan mencapai tingkat yang lebih tinggi daripada konsentrasi di udara bebas. Konsentrasi yang lebih besar dari 1.000 ppm akan menyebabkan ketidaknyamanan terhadap 20% penghuni dan ketidaknyamanan ini akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi CO₂. Ketidaknyamanan ini diakibatkan oleh gas-gas yang dikeluarkan sewaktu pernafasan dan keringat manusia, bukan oleh CO₂. Pada konsentrasi 2.000 ppm, mayoritas penghuni akan merasakan ketidaknyamanan yang signifikan dan banyak yang akan mual-mual dan sakit kepala. Konsentrasi CO₂ antara 300 ppm sampai dengan 2.500 ppm digunakan sebagai indikator kualitas udara dalam ruangan (Wikipedia, n.d.).

Keracunan karbon dioksida akut dikenal sebagai “lembap hitam”. Para penambang biasanya akan membawa sangkar burung kenari ketika mereka sedang bekerja untuk memperingati mereka ketika kadar karbon dioksida mencapai tingkat yang berbahaya. Burung kenari akan terlebih dahulu mati sebelum kadar CO₂ mencapai tingkat yang berbahaya untuk manusia. Karbon dioksida menyebabkan kematian yang luas di Danau Nyos di Kamerun pada tahun 1996. Karbon dioksida yang lebih berat yang dikeluarkan mendorong oksigen keluar, menyebabkan kematian hampir 2000 orang (Martini, 1997).

2.3 Persamaan Nernst dan Hukum Faraday

Sel galvani atau sel volta merupakan sel elektrokimia dimana reaksi spontan menghasilkan aliran arus listrik. Peristiwa yang terjadi pada sel galvani dapat dijelaskan sebagai berikut: elektroda seng kehilangan massa karena logam

Zn dioksidasi menjadi ion Zn^{2+} yang pergi menuju larutan. Konsentrasi Zn^{2+} dalam larutan meningkat. Anion atau ion negatif (misalnya Cl^-), mengalir dari jembatan garam menuju anoda untuk menyeimbangkan muatan positif dari ion Zn^{2+} yang diproduksi. Elektroda tembaga memperoleh massa karena ion Cu^{2+} dalam larutan berkurang menjadi logam Cu. Konsentrasi Cu^{2+} dalam larutan berkurang. Kation atau ion positif (seperti K^+), mengalir dari jembatan garam menuju katoda untuk menggantikan muatan positif dari ion Cu^{2+} yang dipakai.



Gambar 2.2 Sel Galvani atau Sel Volta

Pada kondisi ideal sebenarnya reaksi ini dapat berlangsung secara terus-menerus. Namun, seiring dengan berlangsungnya reaksi, konsentrasi larutan berubah sehingga gaya penggerak reaksi menjadi lebih lemah, dan akhirnya potensial sel mencapai nol. Ketika potensial sel sama dengan nol, reaksi berada pada kesetimbangan.

Persamaan Nernst dapat digunakan untuk mencari potensial sel pada reaksi sel galvani. Persamaan Nernst dapat dinyatakan sbb:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q_C \quad (2.1)$$

Dengan:

E = potensial sel dalam kondisi tertentu (V)

E° = potensial sel pada kondisi *standard-state*

R = konstanta gas ideal = 8.314 J/mol-K

T = temperatur (kelvin), biasanya 25°C (298 K)

n = jumlah mol elektron yang ditransfer pada persamaan kesetimbangan

Universitas Indonesia

F = konstanta Faraday, muatan mol elektron = 95,484.56 C/mol

$\ln Q_c$ = the natural log of the reaction quotient at the moment in time

Hasil bagi reaksi (Q_c) adalah produk matematik dari konsentrasi produk reaksi dibagi dengan produk matematik dari konsentrasi reaktan.

Karena temperatur reaksi biasanya 25°C (298 K), 3 variabel pada persamaan Nernst (R , T , F) dapat dianggap sebagai konstanta. Jika diganti dengan nilai konstanta ini maka persamaannya akan menjadi sbb:

$$E = E^\circ - \frac{0.02568}{n} \ln Q_c \quad (2.2)$$

Untuk reaksi pada gambar di atas,

$$E = E^\circ - \frac{0.02568}{2} \ln \left(\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \right) \quad (2.3)$$

Karena ada transfer 2 elektron, sehingga $n=2$,

$$Q_c = \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \quad E = E^\circ - \frac{0.02568}{2} \ln \left(\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \right) \quad (2.4)$$

Pada kesetimbangan $E = 0$ dan $Q_c = K_c$ sehingga,

$$Q_c = \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \quad (2.5)$$

Persamaan Nernst dapat ditata ulang menjadi:

$$nFE^\circ = RT \ln K_c \quad (2.6)$$

$$\ln K_c = \frac{nFE^\circ}{RT} \quad (2.7)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk menghitung konstanta kesetimbangan untuk setiap reaksi redoks dari potensial sel standard-state.

Hukum faraday menyatakan bahwa jumlah substansi yang dipakai atau dihasilkan pada salah satu elektroda sel elektrolit sebanding dengan besarnya arus listrik yang melewati suatu sel. Berdasarkan definisi ini, muatan 1 Coulomb ditransfer ketika arus 1 ampere mengalir dalam waktu 1 detik.

$$1C = 1 \text{ amp-s}$$

Konstanta Faraday, muatan pada satu mol elektron; $F = 96454,56 \text{ C}$ (Galvanic Cells, n.d.)

2.4 Sensor Gas Karbon Dioksida

Sensor gas CO_2 yang digunakan dalam penelitian ini adalah TGS4161 yang diproduksi oleh Figaro Engineering Inc., sensor ini berjenis elektrolit padat.

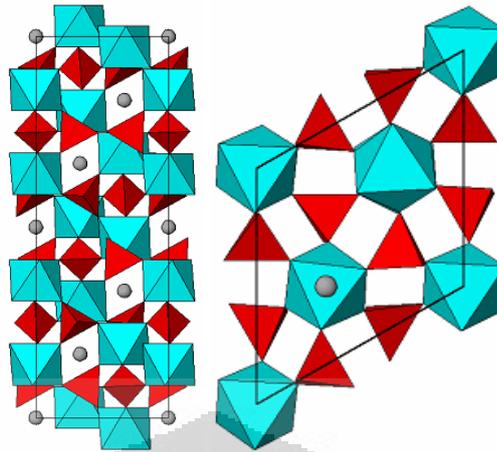
2.4.1 Sensing Element TGS4161

Berbeda dengan sensor gas lain yang juga diproduksi Figaro Engineering Inc., TGS4161 memiliki elemen sensitif CO_2 yang terdiri atas elektrolit padat kation (Na^+) yang dibentuk diantara dua elektroda, bersama dengan substrat *printed heater* (RuO_2). Bagian atas penutup sensor mengandung *adsorbent* (zeolite) yang berfungsi untuk mengurangi pengaruh interferensi oleh gas lain. Elektrolit padat yang digunakan pada sensor ini adalah NASICON (Figaro, 2004).

Katoda *sensing element* terdiri atas lithium carbonate dan emas, sedangkan anoda (*counter electrode*) terbuat dari emas (Miyachi et al, n.d.). Anoda dihubungkan pada pin sensor No. 3 (“S(+)”) sedangkan katoda dihubungkan dengan pin No. 2 (“S(-)”). Pemanas RuO_2 dihubungkan ke pin No. 1 (“H”) dan No. 4 (“H”) memanaskan *sensing element*. Kabel *lead* terbuat dari Platina dan terhubung pada pin nikel.

2.4.2 NASICON

Sodium Super Ionic Conductor (NASICON) memiliki sifat kelistrikan yang sesuai untuk digunakan sebagai sensor gas dan sistem penyimpanan energy (Dong-mei, 2007). NASICON memiliki beberapa karakteristik yang unik dan berguna, seperti temperature *sintering* yang rendah, framework 3 dimensi, dan konduktivitas ion yang baik bila dibandingkan dengan elektrolit padat alumina khususnya.



Gambar 2.3 Struktur $\text{NaZr}_2(\text{PO}_4)_3$

Sumber: Catti, n.d.

Struktur $\text{Na}_{1+x}\text{Si}_x\text{Zr}_2\text{P}_{3-x}\text{O}_{12}$ ($x=0-3$) dapat dideskripsikan sebagai jaringan tiga dimensi dari ZrO_6 oktahedra berbagi sudut dengan PO_4/SiO_4 tetrahedra. Ion Na^+ berlokasi pada situs interstitial dalam framework ini. Konduksi ionic berlangsung ketika Na^+ bergerak dari satu situs menuju lainnya melalui “*bottlenecks*” dibentuk dengan ion-ion oksigen. Terlebih lagi, konduktivitas listrik total sangat tergantung pada kerapatan dan sifat alamiah dari *grain boundaries* (Dong-mei, 2007).

2.4.3 Prinsip Kerja Sensor

Ketika sensor terpapar gas CO_2 , terjadi reaksi elektrokimia berikut:



Keseluruhan reaksi kimia:



Hasil dari reaksi elektrokimia ini adalah gaya gerak listrik (ggl). Menurut persamaan Nernst dapat dihitung besarnya sbb:

$$\text{EMF} = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P_{(\text{CO}_2)}) \quad (2.8)$$

Dengan,

$P(\text{CO}_2)$: tekanan parsial CO_2

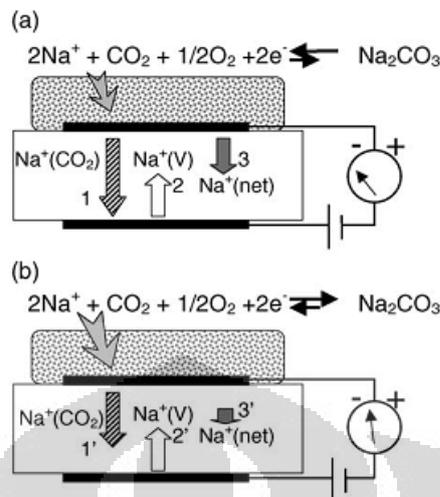
E_c : nilai konstanta

T : temperatur (K)

R : konstanta gas

F : konstanta Faraday

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram di bawah ini,



Gambar 2.4 Diagram Skematik Mekanisme Sensing Sensor pada konsentrasi CO_2 (a) rendah (b) tinggi

Sumber: Lee et al., 2003, p. 666

Gambar di atas merupakan tipe pengoperasian *amperometrik* sedangkan sensor yang kita gunakan tipe *potensiometrik* (Dorneanu, n.d.). Namun ilustrasi ini dapat dipergunakan dengan menghilangkan pengaruh medan listrik luar pada penjelasannya.

Pada persamaan 2.8 dapat dilihat bahwa untuk mengetahui konsentrasi karbon dioksida dilakukan dengan mengamati perubahan ggl yang timbul pada sensor. Mekanisme yang terjadi adalah aktivitas ion Na^+/Li^+ . Pada reaksi katodik reaksi kimianya adalah:



Disini digunakan stokiometri kimia. Pada saat konsentrasi CO_2 rendah maka jumlah ion Li^+ akan tinggi, sehingga akan banyak ion Li^+ yang berpindah dari *sensing element* ke *counter electrode*, akibatnya ggl yang dihasilkannya akan besar (Lee et al., 2003). Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.4 (a). Sebaliknya, pada saat konsentrasi CO_2 tinggi maka jumlah ion Li^+ akan rendah, sehingga ion Li^+ yang berpindah dari *sensing element* ke *counter electrode* akan lebih sedikit dibandingkan pada kondisi (a), akibatnya ggl yang dihasilkannya akan lebih kecil. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.4 (b).

2.5 Penguat *Non-Inverting*

Konfigurasi *noninverting amplifier* memungkinkan *operational amplifier* (opamp) digunakan sebagai impedansi input yang tinggi (*high input impedance*), *noninverting amplifier* ini memiliki perolehan tegangan (*voltage gain*) pada rangkaian yang dapat di set mendekati batas dengan resistor R_1 dan R_f . Impedansi rangkaian ini tinggi karena hanya lintasan menuju *ground* untuk arus input melalui impedansi input tinggi amplifier (Malvino, 1993).

R_1 dan R_f berperan sebagai pembagi tegangan dengan beban yang sangat kecil, karena arus yang dibutuhkan untuk mengendalikan amplifier sangat kecil ($I_B \approx 0$). Oleh karena itu arus melalui R_1 dan R_f juga sama, dan tegangan yang berada pada input inverting adalah:

$$V_{out} \frac{R_1}{R_f + R_1} \quad (2.9)$$

Anggap $V_{in} = 1$ V, amplifier akan bereaksi pada v_i menjadi lebih besar dari V_{out}/A_{ol} dan mengendalikan sampai tegangan pada input inverting sama dengan tegangan pada input noninverting (misal, $v_i = V_{out}/A_{ol} \approx 0$). Jika $R_1 = 10$ k Ω dan $R_f = 100$ k Ω , V_{out} harus 11 V agar v_i menjadi sangat rendah untuk berhenti mengendalikan amplifier. Tegangan output akan tetap 11 V sampai input dirubah.

Untuk mengembangkan persamaan gain untuk rangkaian, anggap

$$I_{R_1} = I_{R_f} \quad (2.10)$$

Karena

$$R_{in} \rightarrow \infty \quad (2.11)$$

Sekarang

$$I_{R_1} = V_{R_1} / R_1 \text{ dan } I_{R_f} = V_{R_f} / R_f \quad (2.12)$$

Tegangan pada terminal inverting amplifier adalah $V_{in} + v_i$, jadi

$$I_{R_1} = \frac{V_{in} + v_i}{R_1} \quad \text{dan} \quad I_{R_f} = \frac{V_{out} - (V_{in} + v_i)}{R_f} \quad (2.13)$$

Oleh karena itu

$$\frac{V_{in} + v_i}{R_1} = \frac{V_{out} - (V_{in} + v_i)}{R_f} \quad (2.14)$$

Karena

$$V_{out} = A_{ol} v_i \quad (2.15)$$

$$v_i = V_{out}/A_{ol} \quad (2.16)$$

Jika $A_{ol} \rightarrow \infty$, karena kita telah mengasumsikan, $v_i \approx 0$ dan kita dapat menulis,

$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_f} \quad (2.17)$$

Sekarang kita dapat menyelesaikan gain sirkuit, V_{out}/V_{in} , yang biasa disebut closed loop (A_{cl}) atau feedback gain (A_{fb}). Selesaikan

$$V_{in} R_f = R_1 V_{out} - R_1 V_{in} \quad (2.18)$$

$$V_{in} (R_f + R_1) = R_1 V_{out} \quad (2.19)$$

$$\frac{R_f + R_1}{R_1} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = A_{fb} \quad (2.20)$$

Oleh karena itu nilai R_f dan R_1 mengatur perolehan tegangan (*voltage gain*) sirkuit. Formula untuk perolehan lintasan tertutup untuk noninverting ampifier adalah

$$A_{fb} = \frac{R_f + R_1}{R_1} = \frac{R_f}{R_1} + 1 \quad (2.21)$$

Jika $A_{ol} \gg A_{fb}$. Bentuk kedua dari persamaan gain, $A_{fb} = R_f/R_1 + 1$, lebih mudah digunakan untuk memecahkan masalah.

Pada contoh sebelumnya dimana $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ dan $R_f = 100 \text{ k}\Omega$

$$A_{fb} = \frac{100\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = 11$$

Penggunaan resistor R_1 dan R_f untuk memasangkan bagian dari tegangan output menuju terminal input, hal ini dilakukan pada noninverting ampifier, disebut umpan balik (feed back). Ini konsep yang penting. R_1 dan R_f harus diambil sehingga ampifier dapat memberikan arus pengendali yang cukup untuk resistor feedback dan beban.

Jika kita ingin mengeset closed loop gain dari noninverting ampifier dengan mengambil R_1 kita dapat menyelesaikan persamaan closed loop gain untuk R_f .

$$A_{fb} = \frac{R_f}{R_1} + 1 \quad (2.22)$$

$$A_{fb} - 1 = \frac{R_f}{R_1} \quad (2.23)$$

Jadi

$$R_f = R_1 (A_{fb} - 1) \quad (2.24)$$

2.6 Mikrokontroler ATmega128

Perkembangan teknologi telah mendorong dengan pesat kemajuan perkembangan dunia elektronika khususnya dunia mikroelektronika. Dengan adanya penemuan silikon maka bidang ini telah memberikan sumbangan yang amat berharga bagi perkembangan teknologi modern. Atmel sebagai salah satu vendor yang mengembangkan dan memasarkan produk mikroelektronika telah menjadi suatu teknologi standar bagi para desainer sistem elektronika masa sekarang. Dengan perkembangan terakhir yaitu generasi AVR (Alf and Vegard's Rise processor) maka para desainer sistem elektronika telah diberikan suatu teknologi yang memiliki kapabilitas yang amat maju namun dengan biaya ekonomis yang cukup minimal.

Mikrokontroler AVR, secara umum, dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka hampir sama.

Dalam implementasi ini maka dipergunakan salah satu AVR produk Atmel yaitu Atmega128 sebagai jantung pengolahan datanya. Mikrokontroler AVR Atmega128 merupakan mikrokontroler 8-bit berdasarkan arsitektur AVR RISC yang dapat menjalankan sebuah intruksi dalam satu clock. Sehingga Atmega128 dapat mencapai kecepatan hampir 1 juta intruksi per detik per MHz (Atmel, 2008).

Inti AVR merupakan kombinasi intruksi dengan 32 register umum. Semua register ini langsung terhubung ke Arithmetic Logic Unit (ALU), sehingga dua register dapat di akses dalam satu intruksi di dalam satu clock. Dengan demikian dihasilkan arsitektur dengan kode yang efisien dan lebih cepat sampai 10 kali dari mikrokontroler CISC konvensional.

2.6.1 Spesifikasi ATmega128

Mikrokontroler ATmega128 memiliki spesifikasi sebagai berikut (Atmel, 2008):

- Catu daya 4,5- 5,5V
- 128 Kbytes flash memory
- In - System Programming by On-chip boot Programming
- 4Kbytes EEPROM
- 4Kbytes SRAM
- Frekuensi maksimum 16 MHz
- 53 programmable I/O
- Dua buah 16 bit timer dan dua buah 8 bit timer
- Programmable watchdog timer,
- Dua 8 bit PWM channel
- On chip analog comparator
- Dua programmable serial USART
- Port antarmuka SPI
- RTC

2.6.2 Serial Peripheral Interface (SPI)

Serial Peripheral Interface memungkinkan komunikasi sinkron berkecepatan tinggi antar mikrokontroler ATmega128 atau antara ATmega128 dengan perangkat lain yang mendukung SPI. SPI memungkinkan untuk membuat aplikasi multiprocessor. Berikut fitur dari SPI Atmega128 (Atmel, 2008):

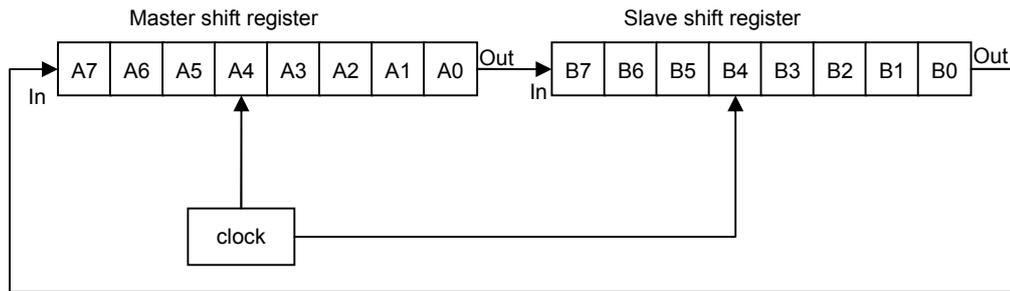
- Full Duplex
- Operasi master atau slave
- Data transfer awal LSB atau MSB
- Tujuh bit rate yang dapat diprogram
- Flag interupsi apabila data berakhir
- Flag proteksi untuk kegagalan penulisan
- Wake-up dari mode idle
- Dua kali kecepatan mode SPI master

Antarmuka tersebut memungkinkan sebuah perangkat master berhak memulai dan mengendalikan komunikasi. Perangkat lain yang menerima dan mengirimkan data kembali ke master disebut slave.

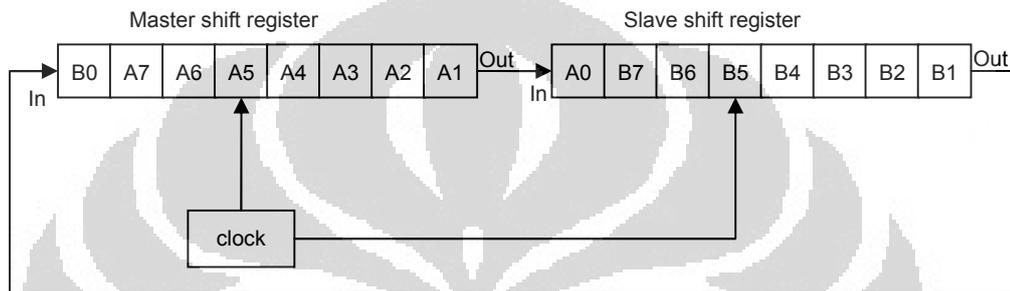
Inti dari komunikasi SPI adalah register geser 8 bit pada kedua piranti master dan slave, serta sinyal clock yang dibangkitkan oleh master. Misalnya, master ingin mengirimkan data A ke slave dan dalam waktu yang sama master menerima data B dari slave. Sebelum memulai komunikasi SPI, master meletakkan data A ke shift registernya dan B juga meletakkan data B di shift register. Selanjutnya, master membangkitkan 8 pulsa clock sehingga data pada shift register master ditransferkan ke shift register slave, dan sebaliknya. Pada akhir pulsa, clock master telah menerima data B dan slave telah menerima data A. Oleh karena data diterima pada saat yang sama, maka SPI termasuk dalam komunikasi full duplex.

Komunikasi dengan SPI membutuhkan 4 jalur sinyal, yaitu:

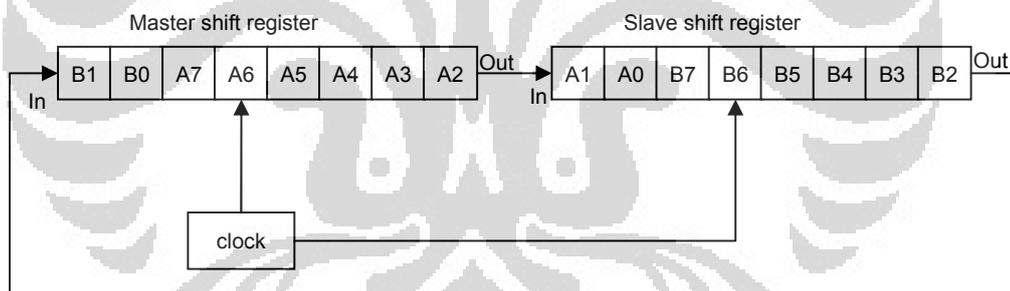
- SCK (Serial Clock) : yaitu sinyal clock yang menggeser bit yang hendak dituliskan ke dalam register geser terima AVR lain atau perangkat lain, dan menggeser bit yang hendak di baca dari register geser kirim AVR lain.
- MOSI (Master Out Slave In) : sinyal bit data serial yang hendak dituliskan dari master ke slave.
- MISO (Master In Slave Out) : sinyal bit data serial yang hendak di baca dari slave ke master.
- SS' (Slave Select/aktif rendah) : sinyal untuk memilih dan mengaktifkan slave



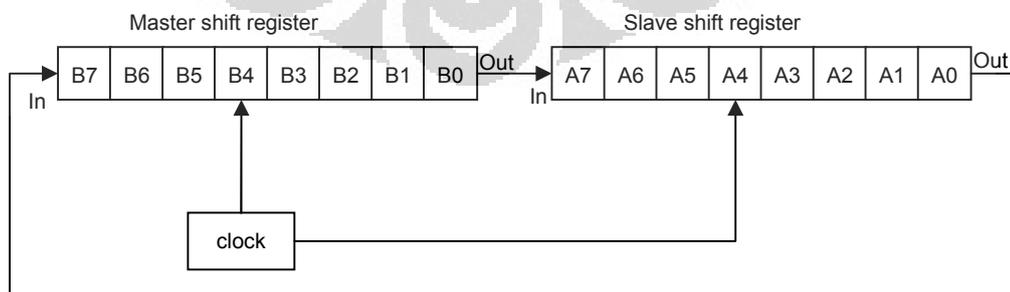
Master menghasilkan pulsa pertama



Master menghasilkan pulsa kedua

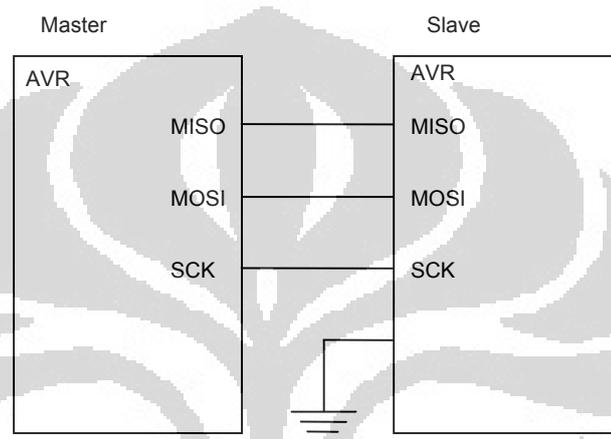


Master menghasilkan pulsa terakhir

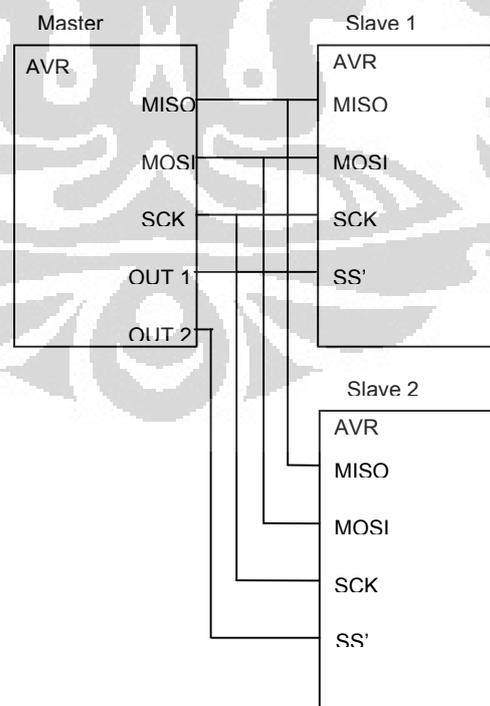


Gambar 2.5 Perubahan Shift Register Saat Komunikasi SPI

SPI memungkinkan komunikasi dengan beberapa slave dengan satu master. Cara master memilih slave yang diinginkan untuk komunikasi adalah menggunakan pin SS'. Jika pin SS' diset pada logika 1, maka SPI slave berfungsi sebagai normal input dan tidak akan menerima data SPI masuk. Di lain pihak, apabila pin SS' berlogika 0, maka SPI akan aktif. Pada konfigurasi master, pin SS' harus diset sebagai output atau dapat berupa input, tetapi harus berlogika 1.



Gambar 2.6 Koneksi SPI Saat Menggunakan 1 Slave



Gambar 2.7 Koneksi SPI Saat Menggunakan 2 Slave

2.6.3 Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to digital converter (ADC) merupakan suatu piranti elektronika yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Sinyal analog yang berasal dari rangkaian detektor harus dikonversi terlebih dahulu menjadi sinyal digital oleh sebuah perangkat pengkonversi ini sebelum diolah lebih lanjut dalam komputer.

ADC bekerja berdasarkan perbandingan antara sinyal input analog, V_{in} , yang dikonversikan ke dalam fraksi dengan sinyal referensi V_{ref} . Nilai output digital yang dihasilkan dari pengkonversi ini dikodekan mewakili fraksi tersebut. Jika kode output konverter terdiri atas n bit, maka bilangan diskrit tingkat output adalah 2^n . Resolusi tegangan per bit, ϵ_v , dapat dihitung dengan membagi kisaran tegangan skala penuh, V_{FS} , (*Full-scale voltage*) dan jumlah bit dari konverter:

$$\epsilon_v = \frac{\Delta V_{FS}}{2^n} \quad (2.25)$$

dengan : ΔV_{FS} = kisaran tegangan skala penuh

n = jumlah bit dari A/D converter

Resolusi menunjukkan sejumlah perubahan kecil yang dapat dideteksi oleh ADC. Semakin banyak bit dari sebuah ADC maka semakin tinggi pula resolusi pengukurannya.

Berdasarkan metode pengkonversianya, *A/D converter* ini dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok besar, yaitu :

- *Parallel A/D Converter*
- *Integrating Converter*
- *Successive-Approximation Converter*

Pada penelitian ini digunakan ADC Atmega 128 yang memiliki fitur:

1. Resolusi 8 atau 10 bit.
 - 8 bit $\rightarrow 2^8 = 256$ keadaan output, jadi resolusi dari $V_{FSR}/2^8 = 1$ bagian dalam 256 dari V_{FSR} (V_{REF})
 - 10 bit $\rightarrow 2^{10} = 1024$ keadaan output, jadi resolusi dari $V_{FSR}/2^{10} = 1$ bagian dalam 1024 dari V_{FSR} (V_{REF})
2. 8 channel MUX \rightarrow 8 single-ended (misalnya referensi ke ground) tegangan input pada PORTF

3. 16 kombinasi dari input differential
4. Dua ADC (ADC1, ADC0 DAN ADC3,ADC2) memiliki tingkat gain (perolehan) yang dapat diprogram dengan pilihan gain 1x, 10x, atau 200x. 1x atau 10x dengan resolusi 8-bit. 200x dengan resolusi 7-bit
5. 7 *channel differential* berbagi ADC1 sebagai terminal negatif bersama (ADC0-ADC1)
6. Range tegangan input adalah 0 V – V_{cc}
7. V_{REF} dapat internal (bisa 2,56 V atau A_{VCC}) atau dengan supply external (harus lebih kecil daripada V_{CC})
8. Mode konversi *free running* atau *single*

Diperlukan 12 siklus clock untuk menginisialisasi sirkuit ADC pada konversi pertama setelah adc diaktifkan. Oleh karena itu, diperlukan 13 siklus clock untuk menyelesaikan konversi. Sirkuit ADC memerlukan sinyal clock 50 kHz sampai 200 kHz. Jadi jika kita menggunakan sistem clock 8 MHz, maka kita menggunakan *prescaler* paling tidak $8/0,2 = 40$. Semakin tinggi frekuensi, semakin cepat konversi, tapi juga semakin kurang akurat. Contoh: $8 \times 10^6 / 64 = 125$ kHz / 13 = 9.6 kHz → 4.8 kHz untuk menghindari aliasing. Interrupt pada saat konversi ADC komplit

Dua register yang mengontrol A/D converter:

Tabel 2.1 ADCSRA (A/D Control and Status Register)

ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Tabel 2.2 ADMUX (A/D Multiplexer Select Register)

REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Hasil konversi akan muncul pada ADCL dan ADCH. Untuk melakukan proses pembacaan perlu dibaca ADCL terlebih dahulu hal ini dilakukan guna menghindari penibanan ADCH oleh data baru.

Prosedur untuk menginisialisasi ADC adalah sbb:

1. Mensetup ADCSRA dan ADMUX.
2. Menghidupkan ADC (ADEN = 1).

3. Memilih konversi single atau free running ($ADFR = 0$ berarti konversi tunggal).
4. Memilih prescaler clock (pilih sistem pembagi clock). Dengan memilih pembagi yang lebih kecil proses konversi akan lebih cepat tetapi hasil konversi menjadi kurang akurat.
5. Memilih tegangan referensi dengan memilih bit yang sesuai, pada lokasi 7 dan 6 dari ADMUX.
6. Memilih pengaturan kiri atau kanan dari hasil (pada register ADMUX, $ADLAR=0$ untuk pengaturan kanan).
7. Memilih channel ADC untuk mengkonversi (pada ADMUX, MUX bits)

Prosedur untuk melakukan konversi:

1. Mulai mengkonversi dengan menulis 1 pada status ADC dan register kontrol, bit 6 (ADSC).
2. Menunggu hingga proses konversi selesai.
3. Memonitor bit 6 (ADSC). Nilai ini akan tetap 1 sampai proses konversi selesai atau menghasilkan interrupt.
4. Bit 4 (ADIF) dari ADSC akan di set ketika konversi selesai

Untuk menggunakan interrupt harus:

1. Mengeset bit 3 (ADIE) dari ADCSRA dan
2. Mengenable global interrupts: `sei()`; (yang mengeset I-bit pada register status SREG) dan,
3. Mendefinisikan rutin penanganan interrupt. Misal:

```
SIGNAL(SIG_ADC)
{
  /* do stuff here */
}
```

Rutin penanganan interrupt akan memanggil, oleh hardware, menghilangkan ADIF flag. Pastikan untuk mengikutsertakan `#include <avr/interrupt.h>`

Membaca data dari register data ADC : ADCL dahulu, baru kemudian ADCH (jika menginginkan 10 bit). Langkahnya:

- a. Perhatikan akses ke register data ADC diblok sampai kedua ADCL dan ADCH dibaca. Kalau ADCH sudah dibaca maka register data ADC dapat di *update*.
- b. ADLAR = 0 (bergeser ke kanan)

15	14	13	12	11	10	9	8
-	-	-	-	-	-	ADC9	ADC8
ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0
7	6	5	4	3	2	1	0

- c. ADLAR = 1 (bergeser ke kiri)

15	14	13	12	11	10	9	8
ADC9	ADC8	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2
ADC1	ADC0	-	-	-	-	-	-
7	6	5	4	3	2	1	0

Tabel 2.3 Pengukuran Single-Ended vs Pengukuran Diferensial

	Single-ended	Differential
Nilai ADC	$V_{in} * 1024 / V_{ref}$	$(V_{pos} - V_{neg}) * Gain * 512 / V_{ref}$
Tegangan yang diukur	$(\text{Nilai ADC}) * V_{ref} / 1024$	$(V_{pos} - V_{neg}) = (\text{Nilai ADC}) * V_{ref} / (Gain * 512)$

Untuk pengukuran diferensial, jika kita ingin menentukan polaritas hasil, periksa MSB dari hasil yang dikonversi (misal ADC9, bit 9 untuk hasil pengaturan kanan)

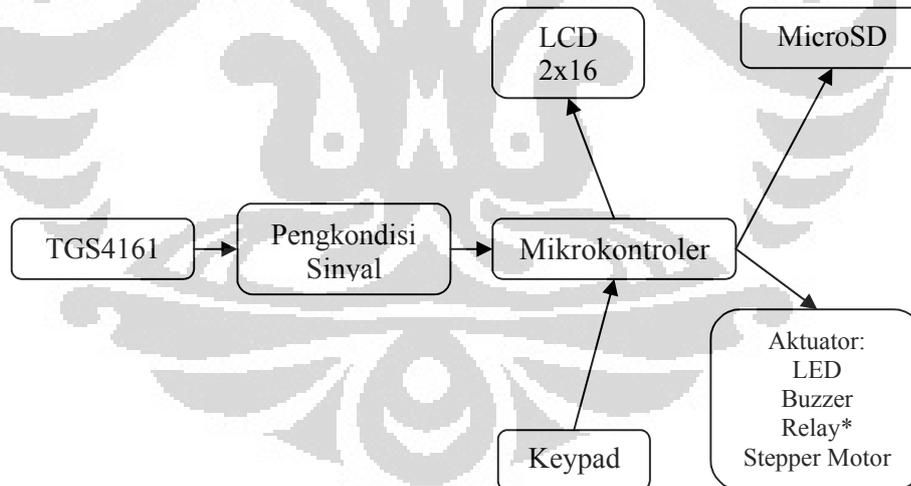
```
Jika (ADCH & 0X02) //if true, then Vneg > Vneg
{.....}
```

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Pada bagian ini dijelaskan mengenai perancangan perangkat keras dan program yang menyusun sistem pemonitor karbon dioksida. Pada perancangan perangkat keras dijelaskan satu-persatu komponen atau modul yang menyusun sistem beserta fungsinya serta informasi umum mengenai modul atau komponen tersebut. Untuk perancangan program lebih detail dijelaskan pada bab 4, sedangkan pada bab ini hanya dijelaskan secara garis besar.

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Pada bagian ini dijelaskan mengenai rangkaian elektronika yang menyusun sistem yang dibuat. Di bawah ini merupakan blok diagram yang digunakan dalam perancangan perangkat keras pada pembuatan sistem pemonitor CO₂ dalam ruangan dengan sensor gas TGS4161 disertai sistem penyimpanan data ke dalam *microSD card*.



Gambar 3.1 Blok Sistem Pemonitor CO₂

Gambar 3.1 menjelaskan blok diagram sistem pemonitor CO₂. Dari blok diagram perangkat keras di atas terdapat 7 blok bagian dari perancangan perangkat keras. Mikrokontroler ATmega128 merupakan pusat dari keenam blok

yang lain. Masing-masing blok memiliki fungsi yang berbeda-beda. Secara garis besar sistem ini terdiri dari input, output, dan mikrokontroler. Berikut ini penjelasan dari masing-masing blok diagram diatas.

3.1.1 TGS4161

Sensor gas CO₂ yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis sensor elektrolit padat yang diproduksi oleh Figaro Engineering Inc. yakni TGS4161. Gambar di bawah ini menunjukkan bentuk fisik dari sensor tersebut.



Gambar 3.2 TGS4161

Alasan dipilihnya sensor ini karena memiliki fitur dan aplikasi yang sesuai dengan keperluan penelitian.

Fitur (Figaro, 2004):

- Sangat selektif terhadap CO₂
- Ukuran yang kompak
- Pengaruh terhadap kelembaban yang rendah
- Umur panjang dan biaya rendah
- Konsumsi daya rendah

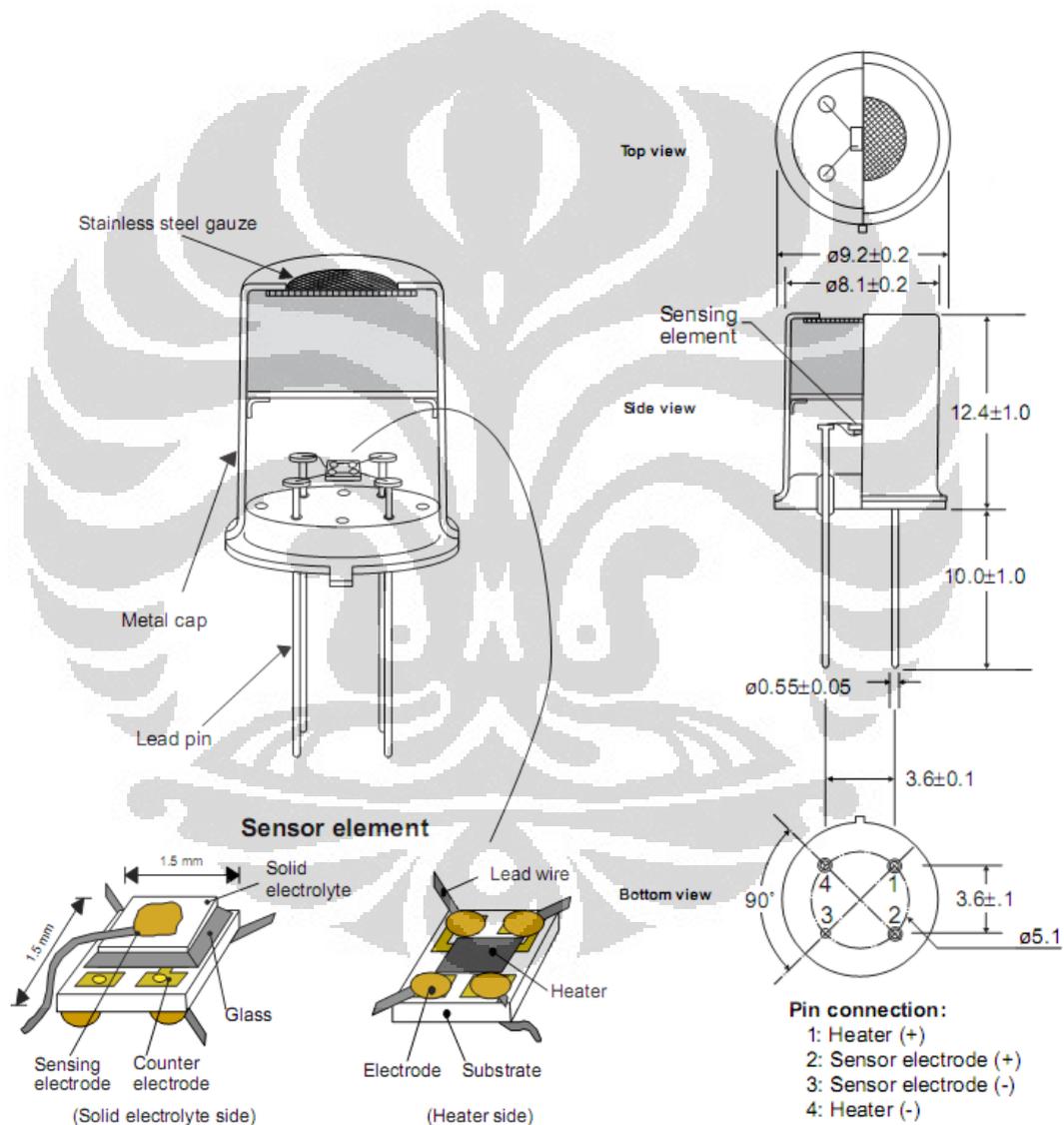
Aplikasi (Figaro, 2004):

- Kontrol kualitas udara dalam ruangan
- Memonitor CO₂

Figaro TGS4161 merupakan sensor karbon dioksida elektrolit padat yang menawarkan miniaturisasi, konsumsi daya rendah, serta daya tahan yang tinggi. TGS4161 memiliki selektifitas tinggi terhadap karbon dioksida serta stabil terhadap kelembaban.

Gambar di bawah ini menunjukkan struktur TGS4161. *Sensing element* terdiri atas elektrolit padat kation (Na⁺) yang dibentuk diantara dua elektroda,

bersama dengan substrat *printed heater* (RuO_2). Katoda (*sensing element*) terdiri atas lithium carbonate dan emas, sedangkan anoda (*counter electrode*) terbuat dari emas. Anoda dihubungkan pada pin sensor No.3 (“S(+)”), sedangkan katoda dihubungkan dengan pin No.2 (“S(-)”). Pemanas RuO_2 dihubungkan ke pin No.1 (“H”) dan No.4 (“H”) untuk memanaskan *sensing element*. Kabel *lead* terbuat dari platina yang dihubungkan pada pin-pin yang terbuat dari nikel.



Gambar 3.3. Struktur TGS4161

Sumber: Figaro, 2004

Tabel di bawah ini menunjukkan kondisi yang harus dijaga ketika sensor dioperasikan.

Tabel 3.1 Kondisi Operasi Sensor

Item	Spesifikasi	
Tegangan pemanas (V_H)	5.0V \pm 0.2 V DC	
Hambatan pemanas (R_H) pada temperatur ruang	70+7 Ω	
Arus pemanas	Sekitar 50 mA	
Konsumsi daya pemanas	Sekitar 250 mW	
Kondisi operasi	-10°C ~ +50°C, 5 – 90% RH	
Kondisi penyimpanan	-20°C ~ +60°C, 5 – 90% RH(simpan di dalam kantung anti lembab dengan jel silika)	
Konsentrasi deteksi optimal	350 ~ 5000 ppm	
ggl pada 350 ppm CO ₂	220 ~ 490 mV	
Δ ggl	ggl (350ppmCO ₂) – ggl (3500ppm) CO ₂	44 ~ 72 mV

Sumber: Figaro, 2004

Tabel 3.2 Spesifikasi Sensor

Nomor Model		TGS4161		
Tipe elemen sensor		Elektrolit padat		
Gas Target		Karbon dioksida		
Jangkauan deteksi umum		350 ~ 10.000 ppm		
Karakteristik kelistrikan	Hambatan pemanas	R_H	70 \pm 7 Ω pada temperatur ruang	
	Arus pemanas	I_H	Sekitar 50 mA	
	Konsumsi daya pemanas	P_H	Sekitar 250 mW	
	Gaya gerak listrik	EMF	220~490mV pada 350 ppm CO ₂	
	sensitifitas	$\frac{\Delta EM}{F}$	44~72 mV	EMF(350 ppm CO ₂) – EMF(3500 ppm CO ₂)
	Tegangan pemanas	V_H	5.0 \pm 0.2 v (DC)	
Karakteristik sensor	Waktu respon	Sekitar 1.5 minute (to 90% of)		
	Akurasi pengukuran	Sekitar \pm 20% at 1000ppm CO ₂		
Kondisi operasi		-10°C ~ 50°C, 5 – 95% RH		
Kondisi penyimpanan		-20°C ~ 60°C, 5 – 90% RH		
Kondisi tes standar	Kondisi tes gas	CO2 pada udara pada 20 \pm 12°C, 65 \pm 5% RH		
	Kondisi sirkuit	5.0V \pm 0.05 V DC		
	Lama pengkondisian sebelum tes	12 jam atau lebih		

Sumber: Figaro, 2004

Catatan: karakteristik sensitifitas diperoleh dibawah kondisi tes standar berikut:

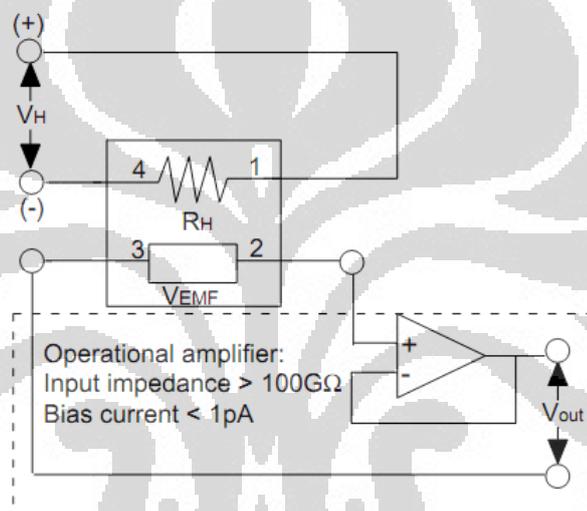
Temperatur dan kelembaban: 20 \pm 2°C, 65 \pm 5 % RH

Kondisi sirkuit : $V_H = 5.0 \pm 0.05$ V DC

Periode preheating : 12 jam atau lebih dibawah kondisi sirkuit standar

3.1.2 Pengkondisi Sinyal

Pada gambar 3.4 ditunjukkan rangkaian dasar pengukuran TGS4161. Pada sensor ini dibutuhkan tegangan untuk menghidupkan pemanas (V_H), pemanas ini sudah terintegrasi dengan sensor. Digunakannya pemanas ini untuk menjaga supaya *sensing element* berada pada kondisi optimal, dengan adanya pemanas maka sensor tidak akan terpengaruh akibat suhu dan kelembaban yang berasal dari luar.



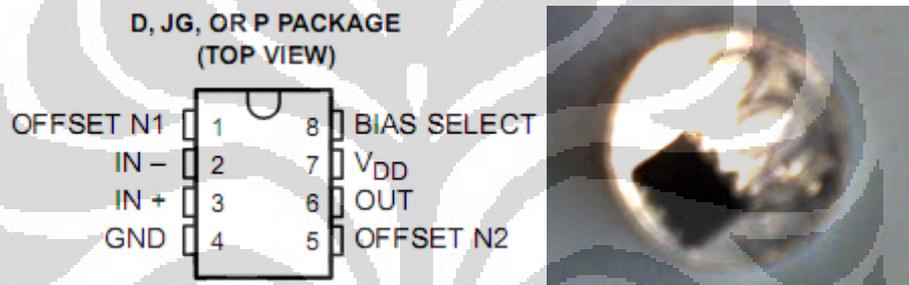
Gambar 3.4. Sirkuit Dasar Pengukuran

Sumber: Figaro, 2004

Ggl (gaya gerak listrik) yang dihasilkan sensor harus diukur menggunakan penguat operasional (*operational amplifier*) dengan impedansi yang tinggi ($> 100\text{G}\Omega$) dengan arus bias $< 1\text{pA}$. Pada penelitian ini digunakan LinCMOSTM Programmable Low-Power Operational Amplifiers TLC271 buatan Texas Instruments. Alasan digunakannya TLC271 karena memiliki spesifikasi sbb (Texas Instruments, 1996):

- Input Offset Voltage Drift: $0.1 \mu\text{V/Bulan}$, termasuk 30 hari pertama
- Jangkauan tegangan sumber yang cukup luas berdasarkan jangkauan temperature:
- 0°C sampai 70°C ... 3 V sampai 16 V

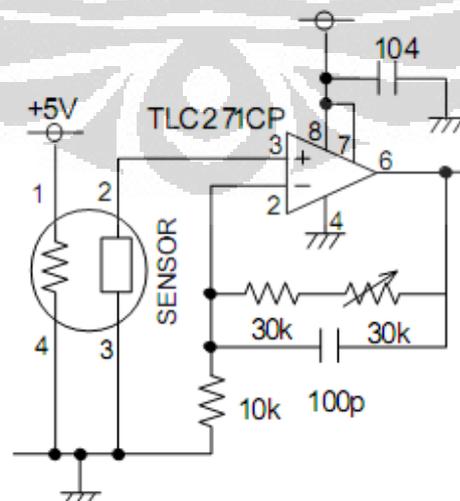
- -40°C sampai 85°C ... 4 V sampai 16 V
- -55°C sampai 125°C ... 5 sampai 16 V
- Dapat beroperasi dengan catu daya tunggal
- Jangkauan tegangan masukan *common mode* dapat diperluas hingga dibawah rail negatif
- Memiliki Noise yang rendah ... $25\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ biasanya pada $f = 1 \text{ kHz}$ (modus bias tinggi)
- Jangkauan tegangan keluaran meliputi rail negative
- **Impedansi input yang tinggi ... $10^{12} \Omega$**
- ESD-protection security



Gambar 3.5 TLC271

Sumber: Texas Instruments, 1996

Pada penelitian ini, rancangan pengkondisi sinyal yang digunakan adalah rangkaian *non inverting amplifier* agar ggl yang dihasilkan sensor dapat diperkuat. Rangkaiannya adalah sbb:



Gambar 3.6 Non inverting Amplifier

Sumber: Figaro, 2004

Karena sensor elektrolit padat bekerja seperti baterai, maka nilai ggl absolut akan mengalami drift jika menggunakan sirkuit dasar ini. Akan tetapi besarnya perubahan ggl (Δggl) tetap memiliki hubungan yang stabil terhadap perubahan konsentrasi CO_2 . Oleh karena itu dalam rangka memperoleh pengukuran CO_2 yang akurat, dibutuhkan mikrokontroler untuk mengolah sinyal yang dihasilkan oleh TGS4161.

3.1.3 Perancangan Sistem Minimum Atmega128

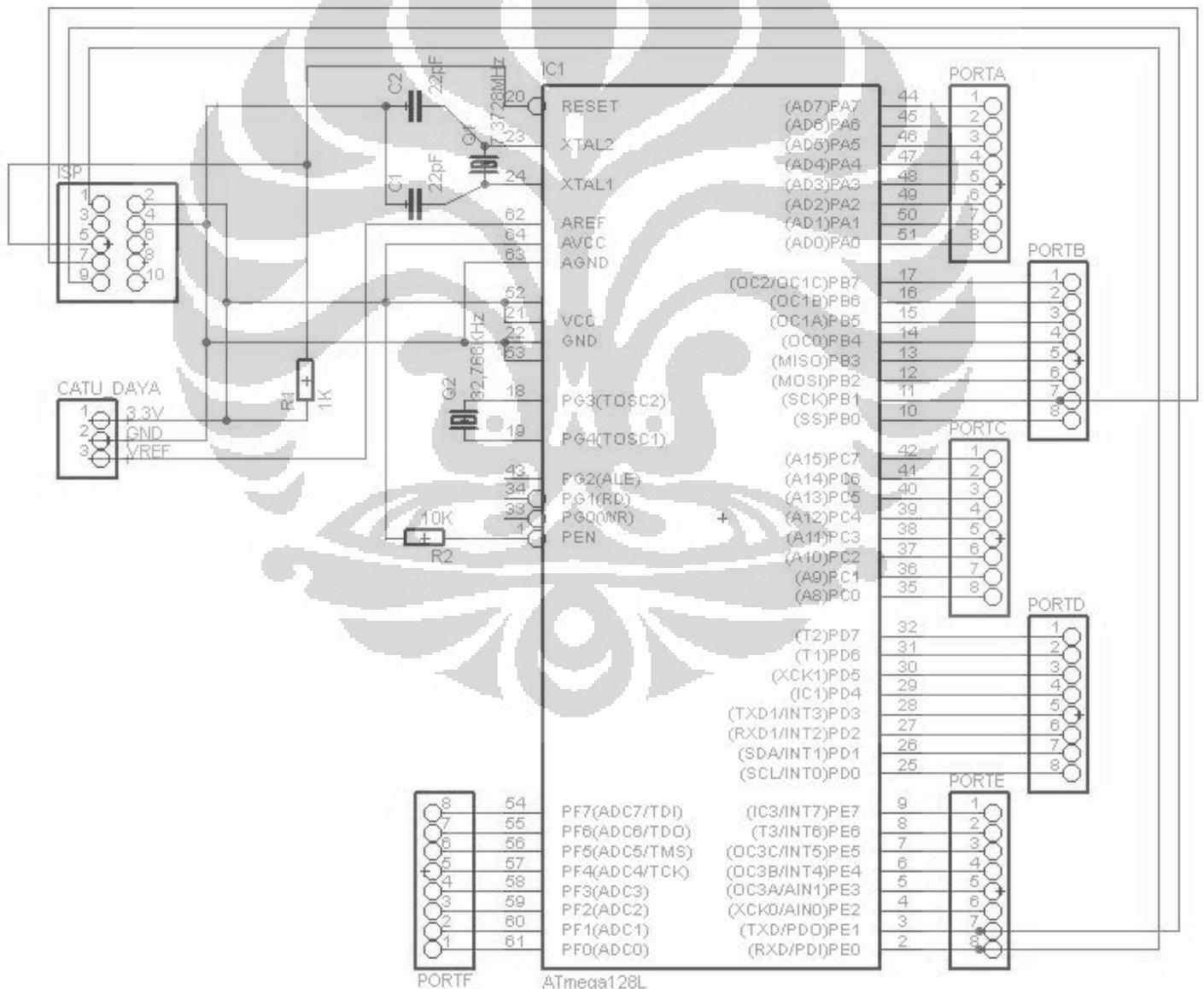
Rangkaian mikrokontroler adalah otak dari keseluruhan sistem. Rangkaian ini terdiri dari mikrokontroler ATmega128 sebagai pengolah data dan mengatur agar sistem bekerja dengan baik. Pada bagian sebelumnya sudah dijelaskan bahwa sensor akan mengalami drift, untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan sistem mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengolah keluaran yang dihasilkan oleh sensor. Disamping mikrokontroler berfungsi untuk mengatur peripheral yang lain.

Sistem minimum mikrokontroler ATmega128 beroperasi pada tegangan sumber 5V. Rangkaian ini terdiri dari kristal 11,059200 MHz yang berfungsi sebagai penghasil gelombang kotak sebagai *clock* dari mikrokontroler. Fungsi dari kristal ini sama halnya dengan fungsi dari jantung manusia, tanpa adanya kristal sebuah mikrokontroler tidak dapat bekerja. Untuk menghasilkan gelombang kotak yang baik, kristal ini dihubungkan pada dua buah kapasitor 22 piko Farad seperti terlihat pada gambar. Pada rangkaian digunakan reset. Reset berfungsi untuk menolkan setiap register yang digunakan sehingga sistem dapat berjalan dari awal lagi. Pada rangkaian ini digunakan juga kristal 32,768 kHz pada pin TOSC1 dan TOSC2 sebagai sumber *clock* RTC.

Mikrokontroler ini memiliki 6 port yaitu port A, B, C, D, E dan F. Adapun penggunaan dari tiap-tiap port dijelaskan dalam tabel 3.3.

Tabel 3.3 Penggunaan Port ATmega128 pada Sistem yang Dibuat

Port	Fungsi	Interface
PA2 - PA7	Keluaran	LCD 2x16
PB0 – PB4	Masukan dan keluaran	Kartu SD/MicroSD
PC0 – PC7	Masukan	Keypad 4x4
PD0	Masukan	Safely Remove
PF0-7	Masukan	Masukan ADC
PE0	Keluaran	Relay



Gambar 3.7 Rangkaian Minimum Sistem ATmega128

3.1.4 Perancangan Antarmuka EMS SD/MMC/FRAM

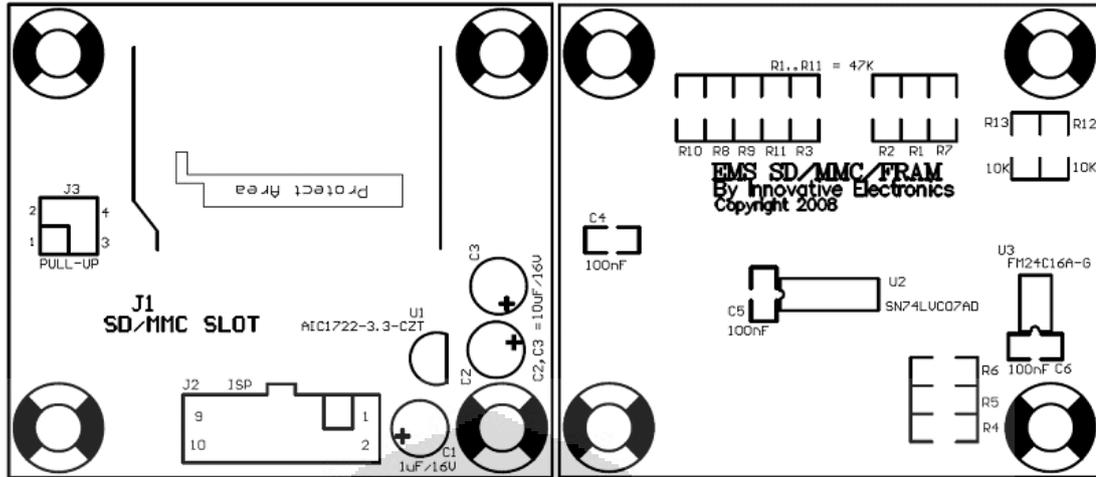
Sistem yang dibuat ini dilengkapi dengan pencatat data atau data logger. Data logger ini berfungsi mencatat data-data yang diperlukan/diinginkan ke dalam media penyimpanan. Satu hal yang melandasi pembuatan sistem data logger ini dikarenakan waktu respon sensor yang terbilang lama, sehingga pada proses karakterisasi sensor penulis mengalami kesulitan dalam mencatat setiap perubahan tegangan yang dihasilkan sensor dalam jangka waktu yang cukup lama (misal. 2 hari). Jenis media penyimpanan yang digunakan adalah *MicroSD card* dengan kapasitas sebesar 1 giga bytes. Digunakannya media penyimpanan ini karena harga yang murah serta dapat dengan mudah dibaca ke dalam komputer dengan menggunakan *card reader*.

Secure Digital (SD) seringkali digunakan sebagai sarana penyimpan data pada Personal Digital Assistant (PDA), kamera digital, dan telepon seluler (ponsel). Beberapa perintah dasar untuk SD Card juga dapat digunakan untuk MMC sehingga kita dapat menggunakan SD atau MMC. Format data pada SD umumnya menggunakan format FAT. FAT12 digunakan untuk kapasitas 16 MB ke bawah. FAT16 digunakan untuk kapasitas 32 MB hingga 2 GB. FAT32 digunakan untuk kapasitas di atas 2 GB (SDHC).

Pada penelitian ini digunakan EMS SD/MMC/FRAM. EMS SD/MMC/FRAM merupakan suatu modul untuk mempermudah antarmuka antara SD Card (atau MMC) dan mikrokontroler dengan tegangan kerja +5 VDC. SD Card (atau MMC) dapat digunakan sebagai memori yang dapat diganti dengan mudah sehingga memudahkan dalam ekspansi ke kapasitas memori yang lebih besar. Pada modul ini juga tersedia Ferroelectric Nonvolatile RAM (FRAM) yang dapat digunakan sebagai buffer sementara dalam mengakses SD Card (atau MMC) atau sebagai tempat penyimpan data lain.

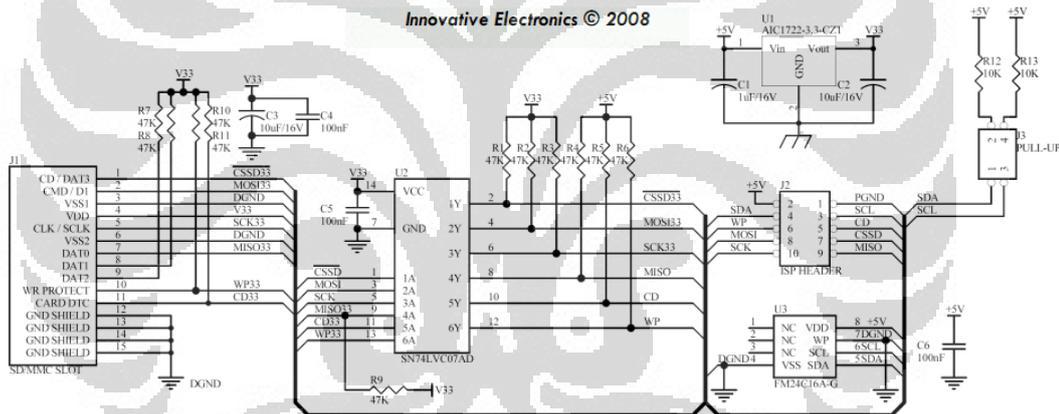
Spesifikasi Hardware (Innovative Electronics, 2008):

- Tegangan supply +5 VDC.
- Jenis kartu yang didukung: SD Card (dan MMC).
- Antarmuka SD Card (dan MMC) dengan mikrokontroler secara SPI.
- Tersedia 2 KByte Ferroelectric Nonvolatile RAM FM24C16.
- Antarmuka FRAM dengan mikrokontroler secara Two-Wire Interface.



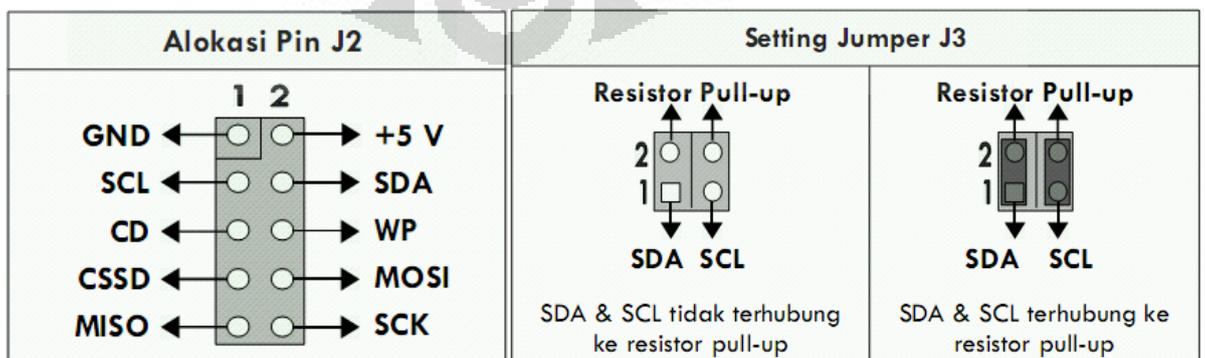
Gambar 3.8 Tata Letak EMS SD/MMC/FRAM

Sumber: Innovative Electronics, 2008



Gambar 3.9 Skematik EMS SD/MMC/FRAM

Sumber: Innovative Electronics, 2008



Gambar 3.10 Konfigurasi Pin dan Jumper

Sumber: Innovative Electronics, 2008

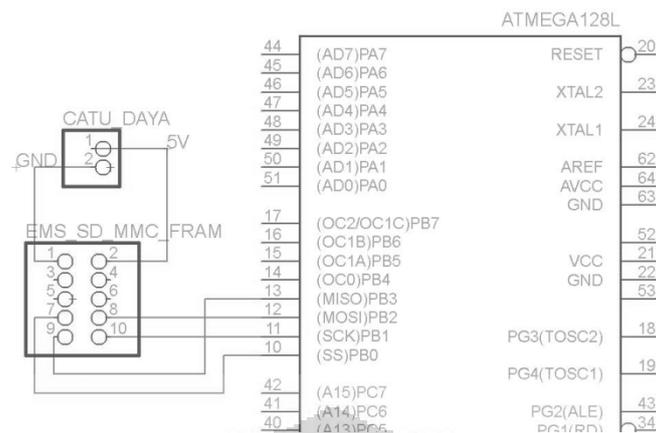
Jumper J3 digunakan untuk resistor pull-up SDA dan SCL. Apabila modul terhubung ke jaringan *Two-Wire Interface*, maka dalam satu jaringan tersebut hanya perlu memasang pull-up pada salah satu modul saja.

Tabel 3.4 Keterangan Pin

Pin	Nama	Fungsi Pada Modul	Keterangan
1	GND	Input	Referensi Ground
2	+5 V	Input	Terhubung ke sumber tegangan 5 VDC
3	SCL	Input	Serial clock untuk akses FRAM
4	SDA	Input/Output	Serial data untuk transaksi data dari/ke FRAM
5	CD	Output	Card Detect, berlogika 0 jika ada kartu yang dimasukkan, berlogika 1 jika tidak ada kartu
6	WP	Output	Write Protect, berlogika 0 jika saklar pada SD card tidak berada pada posisi dikunci, berlogika 1 jika SD Card berada pada posisi dikunci
7	CSSD	Input	Chip Select, diberi logika 0 untuk mengakses SD Card, diberi logika 1 jika tidak mengakses SD Card
8	MOSI	Input	Jalur data masuk ke SD Card
9	MISO	Output	Jalur data keluar dari SD Card
10	SCK	Input	Jalur clock dari mikrokontroler untuk mengakses SD Card

Sumber: Innovative Electronics, 2008

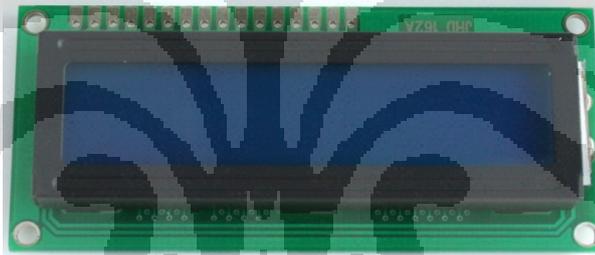
EMS SD/MMC/FRAM merupakan modul untuk kartu SD dan MMC. Pada modul ini terdapat 10 pin. Dua pin digunakan untuk catu daya, dan 4 pin digunakan untuk komunikasi secara SPI dengan mikrokontroler ATmega128. 4 pin tersebut adalah pin SCK modul SD di hubungkan ke port B1 Atmega128, pin MISO modul SD di hubungkan ke port B3 Atmega128, pin MOSI modul SD di hubungkan ke port B2 Atmega128 dan pin CSSD modul SD di hubungkan ke port B0 Atmega128. Pin yang tersisa pada modul EMS SD/MMC/FRAM tidak digunakan, yakni pin SCL dan SDA yang berfungsi untuk mengakses FRAM, pin CD untuk mendeteksi ada atau tidak adanya SD/MicroSD di slot dan pin WP untuk mendeteksi kunci proteksi di SD/MicroSD.



Gambar 3.11 Koneksi EMS SD/MMC/FRAM dengan ATmega128

3.1.5 Perancangan Antarmuka LCD Karakter 16x2

LCD merupakan singkatan dari *Liquid Crystal Display*. Tampilan LCD karakter yang digunakan pada alat ini terdiri atas 16 kolom dan 2 baris.



Gambar 3.12 Tampilan LCD 16 x 2

LCD ini memiliki 16 pin dengan fungsi masing-masing pin sebagai berikut.

Tabel 3.5 Keterangan Pin LCD Karakter

Pin	Simbol	Level	Deskripsi
1	VSS	0V	Ground
2	VDD	5.0V	Tegangan Sumber LCD
3	VEE	(Variable)	Tegangan kontras LCD
4	RS	H/L	Register Select, 0=Register Intruksi, 1 = Register Data
5	R/W	H/L	H: Baca (MPU←LCD), L: Tulis (MPU→LCD)
6	E	H.H→L	Chip Enable (pengaktif LCD)
7	DB0	H/L	Data Bit 0
8	DB1	H/L	Data Bit 1
9	DB2	H/L	Data Bit 2
10	DB3	H/L	Data Bit 3

11	DB4	H/L	Data Bit 4
12	DB5	H/L	Data Bit 5
13	DB6	H/L	Data Bit 6
14	DB7	H/L	Data Bit 7
15	LED+	3.8V 4.2V	- Tegangan positif led
16	LED-	0V	Tegangan negatif led

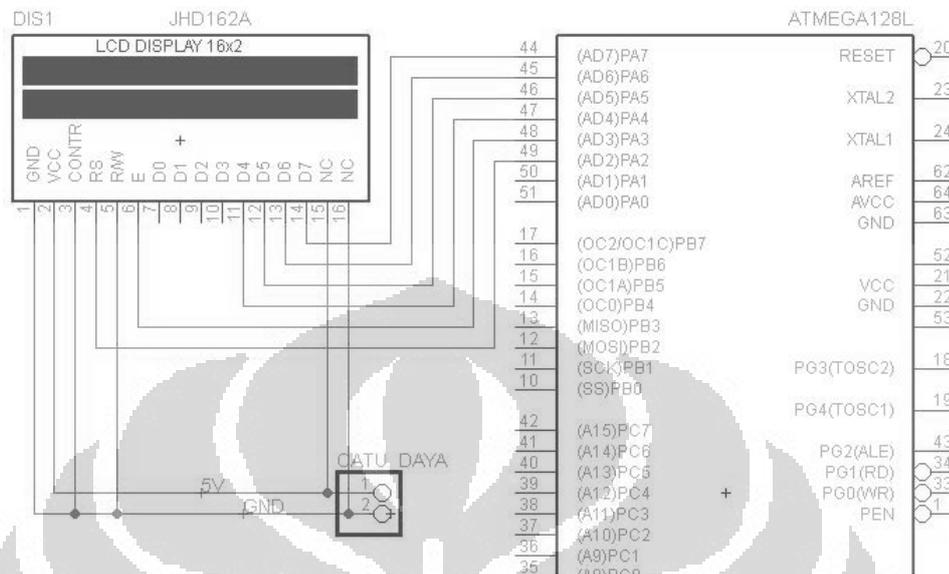
Display karakter pada LCD diatur oleh pin EN, RS dan RW: Jalur EN dinamakan *Enable*. Jalur ini digunakan untuk memberitahu LCD bahwa kita sedang mengirimkan sebuah data. Untuk mengirimkan data ke LCD, maka melalui program EN harus dibuat logika low “0” dan set pada dua jalur kontrol yang lain RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, set EN dengan logika “1” dan tunggu untuk sejumlah waktu tertentu (sesuai dengan *datasheet* dari LCD tersebut) dan berikutnya set EN ke logika low “0” lagi.

Jalur RS adalah jalur *Register Select*. Ketika RS berlogika low “0”, data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti clear screen, posisi kursor dll.). Ketika RS berlogika high “1”, data yang dikirim adalah data text yang akan ditampilkan pada display LCD. Sebagai contoh, untuk menampilkan huruf “T” pada layar LCD maka RS harus diset logika high “1”. Jalur RW adalah jalur kontrol Read/ Write. Ketika RW berlogika low “0”, maka informasi pada bus data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika high “1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika low “0”. Pada akhirnya, bus data terdiri dari 4 atau 8 jalur (bergantung pada mode operasi yang dipilih oleh user). Pada kasus bus data 8 bit, jalur diacukan sebagai DB0 s/d DB7.

Pada alat ini, LCD digunakan sebagai penampil informasi berupa tampilan angka pada saat pengaturan waktu dan tanggal sehingga pemakai dapat mengetahui angka yang ditekan adalah angka yang diinginkan. Selain itu, LCD karakter akan menampilkan seluruh parameter yang diukur pada penelitian ini.

LCD yang digunakan adalah seri JHD162A yang memiliki spesifikasi untuk tegangan input logika tinggi minimal 2,2V dan tegangan input logika rendah maksimal 0,6V. Untuk mikrokontroler ATmega128, tegangan output logika rendah adalah maksimal 0,5V dan tegangan output logika tinggi adalah minimal

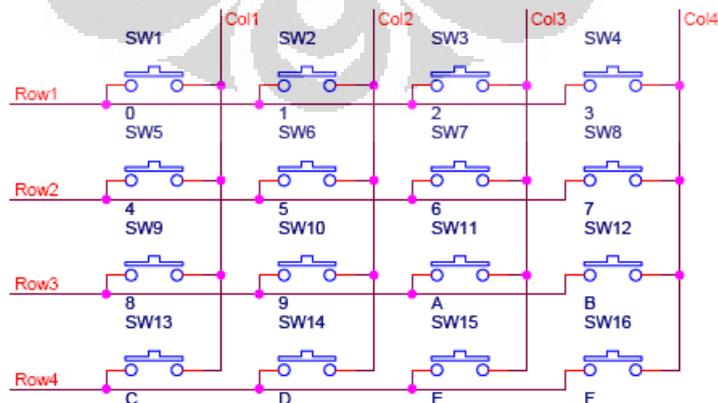
2,2V. Ini berarti jalur data LCD karakter bisa langsung terhubung dengan ATmega128 seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Koneksi LCD dengan ATmega128

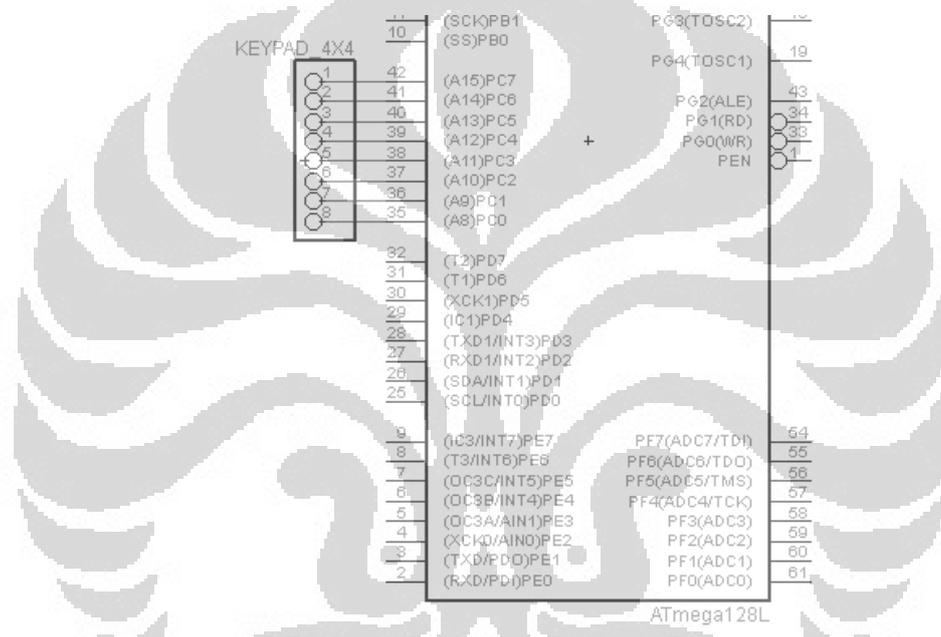
3.1.6 Perancangan Antarmuka Keypad 4x4

Keypad merupakan bagian dari HMI (*Human Machine Interface*) dan memegang peranan penting dalam sistem mikrokontroler dimana interaksi atau input manusia dibutuhkan. Keypad matrik memiliki rancangan yang sederhana dan dapat dengan mudah di hubungkan dengan mikrokontroler. Kontruksi keypad sangat sederhana. Keypad sesungguhnya terdiri dari sejumlah saklar, yang terhubung sebagai baris dan kolom dengan susunan seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.14 Matrix keypad 4x4

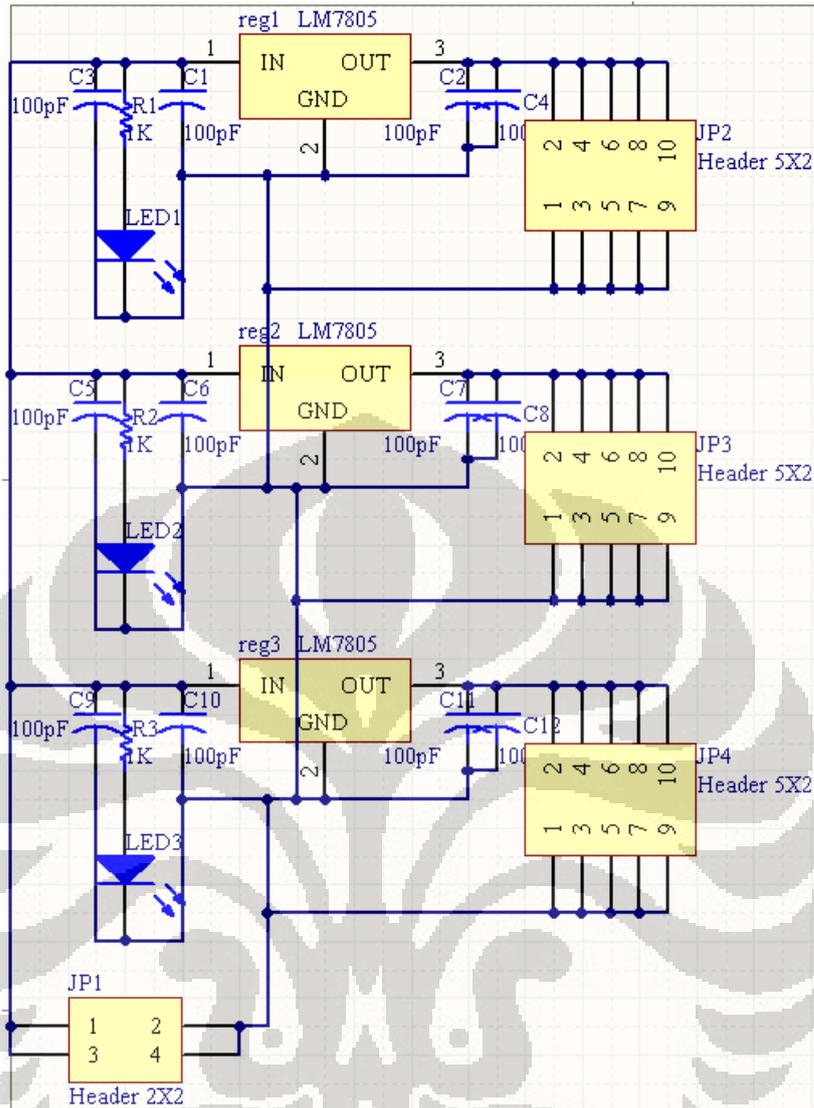
Untuk mendeteksi tombol yang ditekan, maka port mengeluarkan salah satu bit dari 4 bit yang terhubung pada kolom dengan logika low “0” dan selanjutnya membaca 4 bit pada baris untuk menguji jika ada tombol yang ditekan pada kolom tersebut. Sebagai konsekuensi, selama tidak ada tombol yang ditekan, maka mikrokontroller akan melihat sebagai logika high “1” pada setiap pin yang terhubung ke baris. Cara ini terus dilanjutkan sampai ke empat kolom diberikan logika low “0” satu-satu sambil menunggu respon dari baris yang bersangkutan. Keypad 4x4 ini memiliki 8 pin. Semua pin ini langsung dihubungkan ke port E ATmega128 seperti di Gambar 3.14.



Gambar 3.15 Koneksi Keypad dengan ATmega128

3.1.7 Perancangan Catu Daya

Semua blok yang ada di Gambar 3.1 kecuali keypad membutuhkan sumber tegangan untuk bisa beroperasi secara normal. Mikrontroler ATmega128, LCD karakter 16x2, relay, modul SD dan Heater untuk TGS4161 membutuhkan sumber tegangan 5V. Dengan demikian penulis menggunakan tegangan regulator L7805CV untuk sumber tegangan 5V. Input dari regulator tegangan ini adalah adaptor dengan tegangan antar 7,5V – 26,0V.



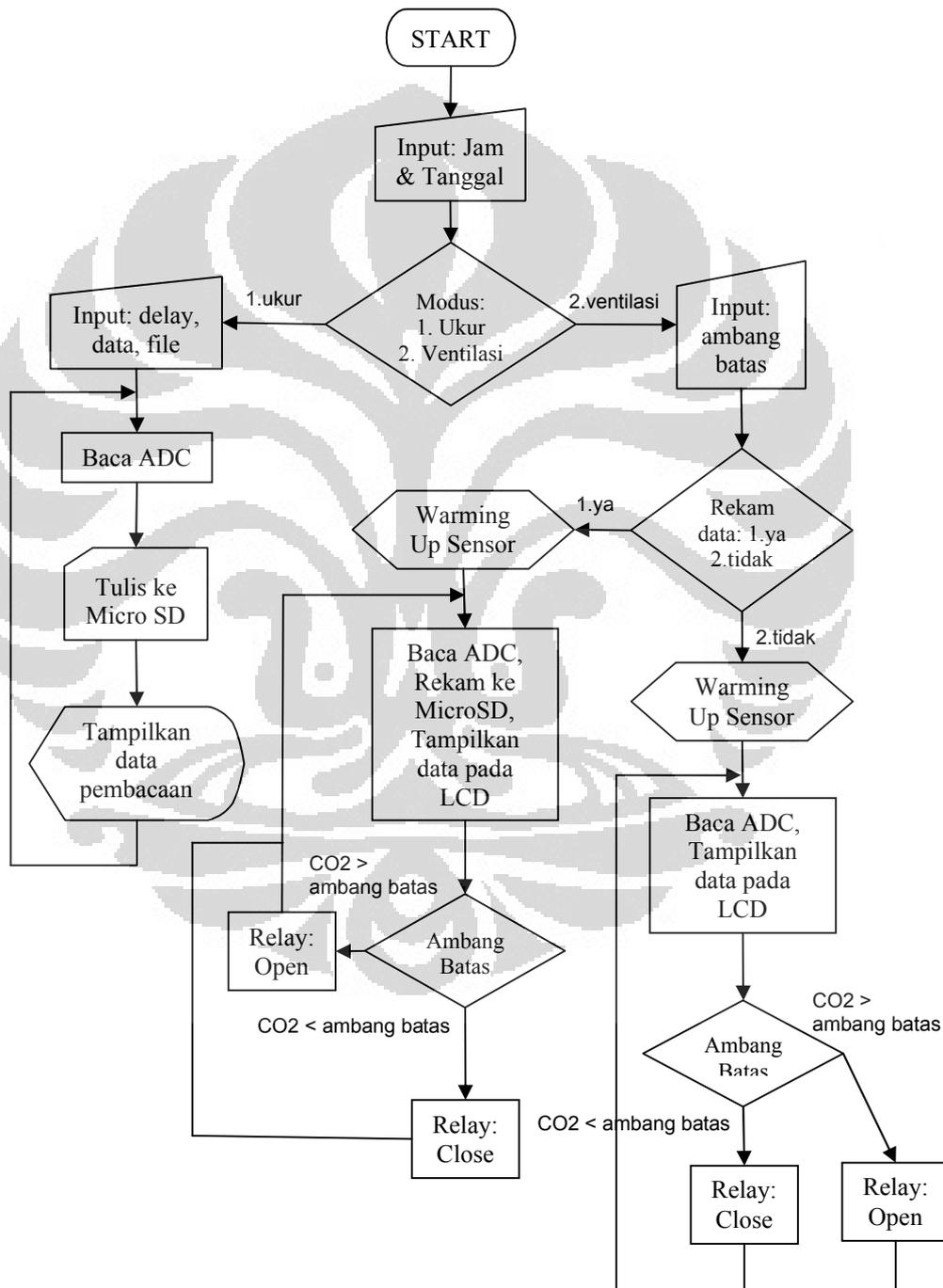
Gambar 3.16 Rangkaian Catu Daya

3.1.8 Perancangan Sistem Pemonitor CO₂

Sistem yang dibuat ini sebenarnya bersifat *modular* yang artinya kita dapat melepaskan modul-modul dari sistem minimum dan dapat memindahkan koneksi pin pada sistem minimum dan tentunya harus disesuaikan kembali dengan program yang kita buat. Jika keseluruhan komponen ini dijadikan satu maka blok diagramnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

berfungsi menterjemahkan dari bahasa basic (yang dapat dimengerti manusia) ke dalam bahasa mesin yang berfungsi untuk mengendalikan mikrokontroler.

Untuk menentukan alur kerja program terlebih dahulu dirancang diagram alir program, dengan rancangan tersebut akan lebih mudah untuk menentukan instruksi apa yang harus digunakan pada tiap langkahnya. Diagram alir alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Diagram Alir Sistem

Tahap selanjutnya adalah pembuatan program dengan menggunakan BASCOM-AVR. Program yang dibuat selanjutnya *dicompile* dan dikirim ke mikrokontroler dalam bentuk “.hex”. Pada sistem yang dibuat ini, penulis membagi program menjadi 3 file, yakni Config_AVR-DOS.bas, Config_SD.bas, dan programutama.bas. Config_AVR-DOS.bas dan Config_SD.bas merupakan file yang disediakan oleh MCS Electronics. Pada penulisan skripsi ini, penulis hanya menggunakan kedua program tersebut. Config_AVR-DOS.bas akan memberikan fungsi DOS pada alat ini. Config_SD.bas merupakan driver kartu SD/MicroSD sehingga dapat di akses oleh mikrokontroler ATmega128.

3.3 Perangkat Pendukung

Keberadaan perangkat lunak (software) tidak dapat dipisahkan dari teknologi mikrokontroler. Perangkat lunak merupakan program yang berisi instruksi-instruksi yang akan mengendalikan kerja mikrokontroler tersebut. Perangkat lunak dapat ditulis dengan bahasa tingkat tinggi seperti Basic, Delphi, Turbo Pascal, C atau juga dapat ditulis dengan bahasa tingkat rendah seperti assembly.

Untuk dapat bekerja dalam mikrokontroler, program yang telah ditulis dengan bahasa pemrograman tersebut selanjutnya *dicompile* dengan *compiler* agar diperoleh bentuk hexadesimal dengan bentuk file *.hex, bentuk object dengan bentuk file *.obj atau bentuk biner dengan bentuk file *.bin. Selanjutnya, file HEX didownload ke dalam mikrokontroler dengan downloader.

3.3.1 BASCOM

BASCOM-AVR adalah program basic compiler berbasis windows untuk mikrokontroler keluarga AVR seperti Atmega128 dan yang lainnya. BASCOM AVR merupakan pemrograman dengan bahasa tingkat tinggi “BASIC” yang dikembangkan dan diproduksi oleh MCS Electronics sehingga dapat dengan mudah dimengerti/diterjemahkan oleh manusia.

Dalam program BASCOM-AVR terdapat beberapa kemudahan untuk memprogram Atmega128, seperti program simulasi yang sangat berguna untuk melihat hasil program yang telah kita buat. BASCOM-AVR ini didesain untuk

berjalan di Windows 95/98/NT/2000, XP dan VISTA. Tampilan muka halaman editor perangkat lunak BASCOM-AVR ditunjukkan pada gambar 3.20.

```

Sub
Declare Sub Rekonanbar()
Declare Sub Make_connection()
Declare Sub Ipes_snapshot_picture()
Declare Sub Send/byval B1 As Byte , Byval B2 As Byte , Byval B3 As Byte , Byval B4 As Byte , Byval B5 As Byte , Byval B6 As Byte )
Declare Sub Receive/b1 As Byte , B2 As Byte , B3 As Byte , B4 As Byte , B5 As Byte , B6 As Byte )
Declare Sub Acknowledge()

Dim B As Byte
Dim Nama As Word
Name = 0
Dim Ulang As Byte

$regfile = "m128def.dat"
$crystal = 7372800
$hwstack = 250
$swstack = 250
$framesize = 250

Open "com3:9600,8,n,1" For Output As #1

Sbaud = 14400
Config Serialin = Buffered Size = 68
Open "com1" As Binary As #2
Waitms 100

Config Clock = Soft
Config Date = Day , Separator = .
Enable Interrupts
Time$ = "20.22.00"
Date$ = "23.04.09"

Seeprora
Seeprorhex
Label1
Data 0
$data
*****
* I/O PIN CONFIGURATION AND FLAGS
*****
Config PinD.0 = Input
Pinout Alias PinD.3
On Int0 Eir
enable int0
Config Int0 = rising
Name the interrupt service routine

```

Gambar 3.20 Halaman editor BASCOM-AVR

3.3.2 AVR-DOS

AVR-DOS merupakan sistem file FAT16/32 untuk BASCOM-AVR yang di tulis oleh Vögel Franz Josef sebagai library tambahan yang menyediakan fungsi DOS ke dalam aplikasi mikrokontroler ATMEL AVR yang kompatibel dengan format partisi FAT16 dan FAT32. Libray ini ditulis dalam bahasa AVR- assembler. AVR-DOS memiliki fitur:

- Baca dan tulis file ASCII
- Baca dan tulis file Binary
- Tersedia driver untuk kartu Compact Flash, MMC, SD, Hard disk dan lain-lain.
- Terintegrasi dengan Compiler BASCOM-AVR
- Kompatibel sintak QB/VB

3.3.3 USB AVR ISP Downloader

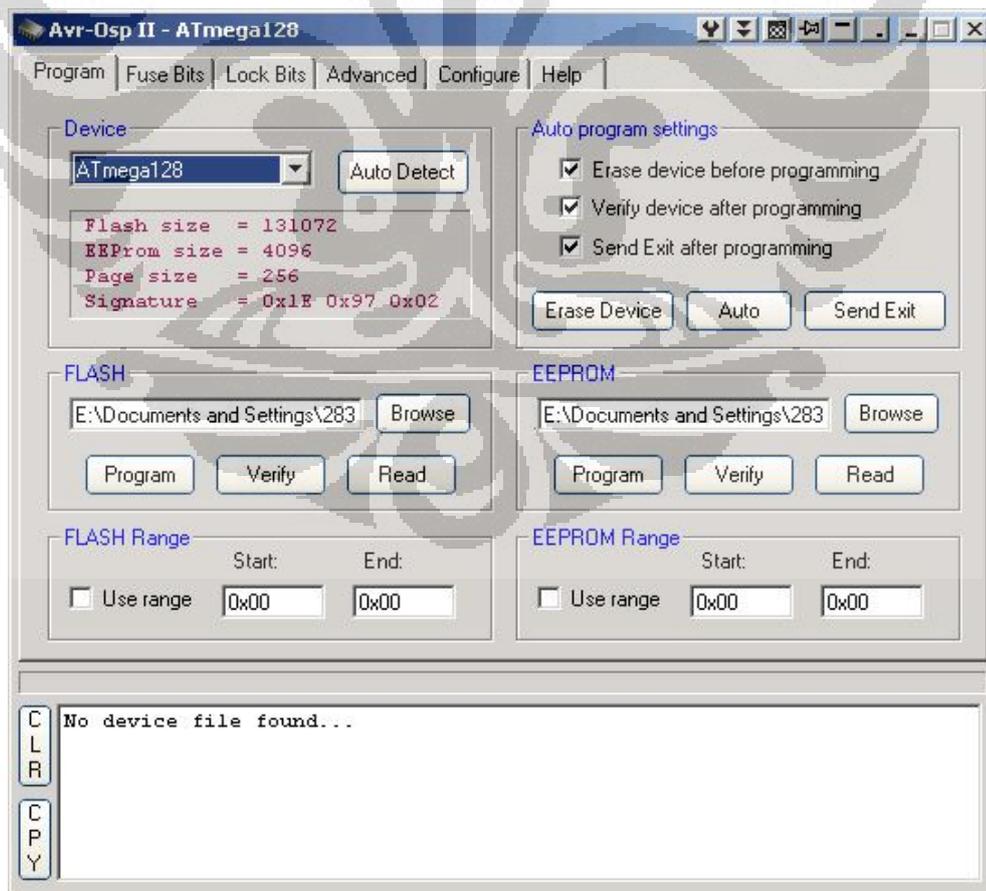
USB AVR ISP downloader adalah perangkat keras yang digunakan untuk mentransfer program yang telah dihasilkan BASCOM AVR ke dalam

mikrokontroler dengan bantuan perangkat lunak Avr-Osp II Version .547 dan sebagai sarana komunikasi dengan komputer secara serial.



Gambar 3.21 USB AVR ISP Downloader

Perangkat lunak Avr-Osp II Version .547 merupakan perangkat lunak yang mudah digunakan. Untuk memulai kerja dengan perangkat lunak ini, pengguna cukup melakukan konfigurasi port dan baud rate pada tab configure. Setelah melakukan setting, maka Avr-Osp II siap digunakan untuk melakukan aktivitas yang dikehendaki misalnya untuk membaca memori flash dan memori data, menghapus memori flash dan memori data, men-download program dan melakukan simulasi. Tampilan halaman muka Avr-Osp II Version .547 ditunjukkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.22 Halaman muka Avr-Osp II

3.4 Prinsip Kerja Rancangan Secara Umum

Prinsip kerja rancangan ini secara umum adalah sebagai berikut, pada saat saklar dihidupkan, alat ini akan meminta pengguna untuk memasukkan tanggal dan waktu (dan kemungkinan parameter lainnya) dengan menggunakan keypad yang tersedia. Pertama, pengguna memasukkan jam lalu menit dan terakhir detik. Setelah mengatur waktu, maka di lanjutkan dengan memasukkan tanggal dengan format HHBBTT. Kemudian tanggal dan waktu yang telah diatur akan tampil di LCD selama 2 detik. Apabila tanggal dan waktu yang dimasukkan ke alat tidak benar, maka pengguna harus mematikan alat ini dan menghidupkan kembali atau menekan tombol reset yang ada pada alat ini. Proses memasukkan tanggal dan waktu diulang kembali sehingga didapatkan tanggal dan waktu yang benar.

Setelah itu, alat ini akan menanyakan kita akan memilih modus apa? Apakah modus analitik atau modus peringatan dini. Jika modus analitik dipilih maka sistem hanya akan mencatat parameter-parameter, seperti: tanggal, waktu dan CO₂ ke dalam microSD card. Sedangkan jika modus peringatan dini dipilih maka sistem akan menanyakan pengguna untuk memasukkan ambang batas. Sistem selanjutnya akan melakukan proses kalibrasi secara otomatis selama beberapa saat. Dan setelah itu mulai melakukan monitoring, jika ambang batas yang kita set sebelumnya dilewati maka sistem akan mengaktifkan relay untuk menggerakkan sistem ventilasi.

Untuk detil perancangan program mikrokontroler dapat diperhatikan pada bab 4. Pemisahan ini dilakukan karena dalam membuat algoritma sensor dibutuhkan data-data karakteristik sensor, sehingga akan lebih mudah dipahami jika pembahasan ini dilakukan pada bab 4 sebab data-data yang dibutuhkan tercantum pada bab 4.

BAB 4 PENGUJIAN SISTEM DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang pengujian dan analisa pada sistem yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem apakah telah berfungsi seperti yang diharapkan atau tidak. Pengujian dilakukan satu-persatu, dimulai dari catu daya hingga pengujian system pada kondisi *real* di lapangan. Jika diketahui ada sesuatu yang tidak sesuai maka dilakukan analisa dan kemudian diperbaiki dari hasil analisa tersebut. Pada bab ini juga dibahas mengenai proses pembuatan program berdasarkan hasil dari pengkarakterisasian sensor. Pada bagian akhir dilakukan beberapa eksperimen sederhana.

4.1 Pengujian Perangkat Keras

4.1.1 Pengujian Catu Daya

Catu daya merupakan bagian yang pertama kali dilakukan pengujian, sebab bila catu daya tidak berfungsi dengan normal maka dapat merusak komponen lainnya, terutama sensor atau tidak berfungsinya alat pemonitor ini. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan output yang dihasilkan regulator tegangan L7805CV dengan menggunakan multimeter digital dan osiloskop. Sebelum pengujian dilakukan, osiloskop sudah dikalibrasi terlebih dahulu. Tabel 4.1 merupakan hasil dari pengujian catu daya. Gambar 4.1 menunjukkan pengukuran dengan menggunakan osiloskop.

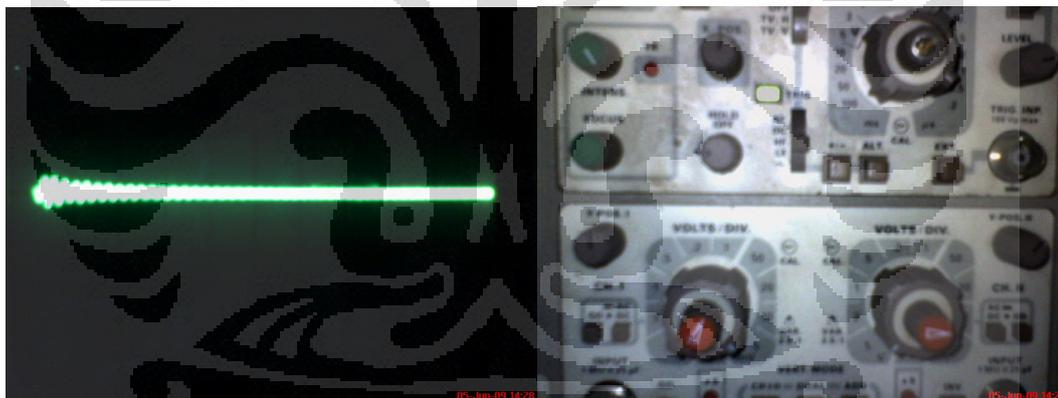
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Catu Daya

	Vout L7805CV
Multimeter Digital	±5,02V
Osiloskop	±5,00V



Gambar 4.1 Vout L7805CV, 2V/div

Selain tegangan keluaran dari regulator 5 volt, satu hal lagi yang perlu diperhatikan adalah *noise* yang terdapat pada output regulator ini. Sebab bila kita perhatikan pada *datasheet* TGS4161, ggl sensor akan sangat dipengaruhi oleh tegangan yang diberikan pada *heater* (terpengaruh temperatur). Oleh karena itu perlu dilakukan pengamatan pada tegangan keluaran regulator dengan menggunakan osiloskop. Tegangan *heater* harus berada pada *range* $5.0\text{ V} \pm 0.2\text{ V}$ DC. Perubahan tegangan *heater* (yang mungkin diakibatkan oleh *noise*) yang melebihi batas yang disarankan akan mempengaruhi ggl yang dihasilkan oleh sensor. *Noise* merupakan sinyal yang hadir dalam suatu sistem dalam bentuk gangguan yang bukan merupakan sinyal yang diinginkan, *noise* ini biasanya berorde milivolt dan memiliki frekuensi yang tinggi. Oleh karena itu osiloskop diset pada 5 mV/div dan $0,2\mu\text{s/div}$ supaya kita dapat melihat *noise* yang muncul pada output regulator. Serta osiloskop diset pada mode AC mengingat *noise* merupakan sinyal AC. Gambar di bawah ini menunjukkan pengujian *noise* dengan menggunakan osiloskop.

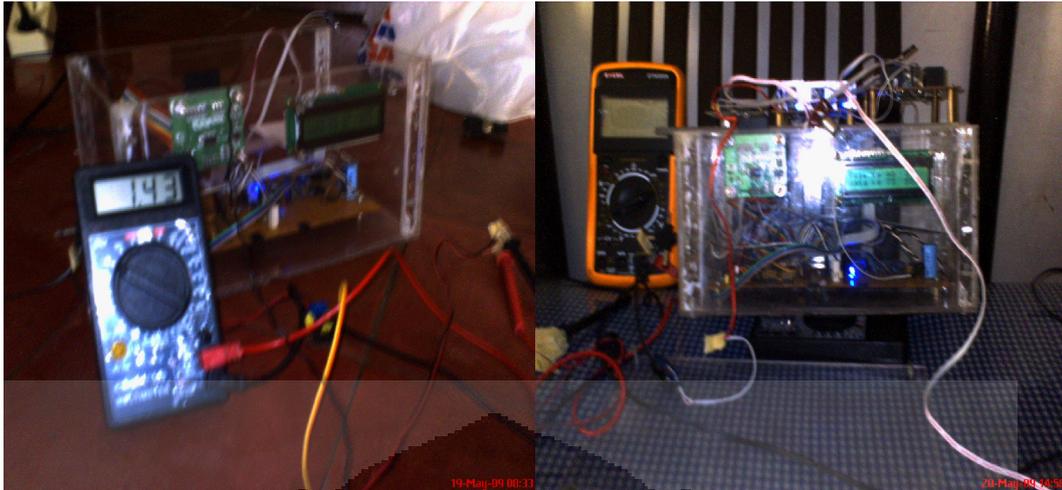


Gambar 4.2 Pengujian *Noise* L7805CV, 5 mV/div , $0,2\mu\text{s}$

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa ada sedikit *noise* yang muncul, akan tetapi hal ini dapat ditolerir mengingat besarnya masih dibawah 5 mV sehingga tidak terjadi fluktuasi yang besar pada tegangan keluaran regulator.

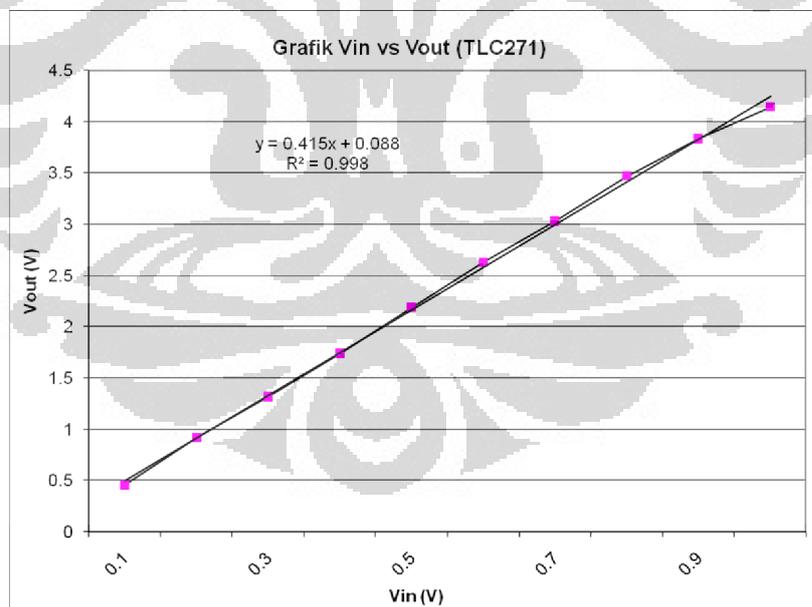
4.1.2 Pengujian Pengkondisi Sinyal (TLC271)

Setelah melakukan pengujian catu daya, maka dilanjutkan untuk menguji pengkondisi sinyal. Pengujian dilakukan dengan memberikan input yang bervariasi dari 0 volt hingga 1 volt dengan perubahan tegangan 0.1 volt , kemudian tegangan keluaran dari TLC 271 diukur dengan menggunakan multimeter digital. Proses pengujian ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3 Pengujian Pengkondisi Sinyal (TLC271) dengan Menggunakan 2 Jenis Multimeter Digital

Pada pengujian ini dilakukan dengan dua buah multimeter. Ternyata dari dua multimeter yang digunakan menunjukkan angka yang hampir sama. Pada saat pengujian dilakukan, penguatan sudah diset menjadi 4,5 kali dengan mengatur resistor yang dihubungkan ke TLC271 dengan perhitungan $A = (R_f/R_1)+1$. Data yang diperoleh diplot pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Vin vs Vout TLC271

Dari grafik di atas terlihat bahwa penguatan yang sesungguhnya ternyata bukan 4,5 kali seperti kondisi yang kita set dari hasil perhitungan, melainkan sekitar 4,2 kali oleh karena itu nilai inilah nilai penguatan sesungguhnya. Dari

grafik dapat dilihat bahwa hubungan antara V_{in} dan V_{out} linear, terlihat dengan nilai R^2 yang mendekati 1.

4.1.3 Pengujian Modul Relay

Proses pengujian awal modul relay sebelum dikoneksikan dengan sistem minimum ATmega128 dilakukan dengan memberikan tegangan 5 volt pada modul relay. Sebelum diberikan tegangan, relay berada pada posisi *normally open*, dan ketika diberikan tegangan maka relay akan berada pada posisi *close* sehingga dapat mengalirkan arus listrik. Terminal input relay ini dapat disambungkan langsung dengan sumber listrik PLN, akan tetapi pada penelitian ini relay dihubungkan pada sumber tegangan 9 volt yang digunakan untuk menghidupkan kipas. Setelah pengujian ini berhasil dilanjutkan dengan mengkoneksikan modul relay ini dengan pin mikrokontroler, pengujian dilakukan dengan memberikan logika 1 dan 0. Ketika diberikan logika 1 relay akan *close* sedangkan ketika diberikan logika 0 relay akan *open*. Ketika relay pada posisi *close* kipas yang dipasang pada relay berputar dan berhenti ketika relay *open* dengan memberikan logika 0.

4.1.4 Pengujian RTC ATmega128, Keypad 4x4, dan LCD

Selanjutnya adalah pengujian LCD, keypad 4x4 dan RTC ATmega128. Untuk menguji RTC ATmega128 dan keypad, penulis membuat program dimana program ini akan meminta penulis untuk memasukkan waktu dan tanggal yang benar dengan menekan angka yang ada pada keypad. Sebelum menekan keypad, LCD akan menampilkan “00.00.00” dan ” 00:00:00”. Setelah itu, penulis akan memasukkan jam 12, menit 12 dan detik 12. Kemudian, penulis memasukkan tanggal 01, bulan 05 dan tahun 09. Setelah semua angka ditekan, LCD akan menampilkan waktu dan tanggal yang telah diset penulis.



Gambar 4.5 Tampilan Awal LCD Pengujian RTC dan Keypad



Gambar 4.6 Tampilan LCD Saat Akan Memasukkan Jam



Gambar 4.7 Tampilan LCD Setelah Set Waktu dan Tanggal

Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai 4.7. Terbukti keypad dan LCD berfungsi dengan baik dengan melihat Gambar 4.7 dimana waktu dan tanggal telah berubah, sedangkan RTC juga berfungsi dengan normal. RTC pada mikrokontroler ATmega128 dapat berjalan bila crystal 32,768KHz dipasang pada pin TOSC1 dan TOSC2.

4.1.5 Pengujian Modul EMS SD/MMC/FRAM

Setelah komponen LCD, keypad dan RTC berfungsi dengan baik proses selanjutnya adalah menguji modul EMS SD/MMC/FRAM. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kartu microSD dengan kapasitas 1 gigabyte yang sebelumnya telah diformat terlebih dahulu pada PC dengan menggunakan *file system* FAT16. Mikrokontroler terkoneksi secara serial dengan PC dengan menggunakan USB AVR ISP Downloader dan hasilnya akan diamati dengan menggunakan hyperterminal yang ada pada Windows. Pengujian dilakukan dengan memprogram ATmega128 dengan program sebagai berikut:

```
$regfile = "M128def.dat "
$crystal = 11059200
#include "Config_AVR-DOS.BAS"
#include "Config_SD.bas"
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portb.4 , Db5 = Portb.5 , Db6 = Portb.6 , Db7 = Porte.5 , E =
Porte.7 , Rs = Porte.6
Config Lcd = 16 * 2
Cursor Off Noblink
Dim B As Byte
B = Initfilesystem(1)
Print B
End
```

Hasil pada hyperterminal adalah sbb:

```
Wait for Drive
Init File System ... OK
Filesystem: 6
FAT Start Sector: 251
Root Start Sector: 737
Data First Sector: 769
Max. Cluster Nummber: 61946
Sectors per Cluster: 32
Root Entries: 512
Sectors per FAT: 243
Number of FATs: 2
```

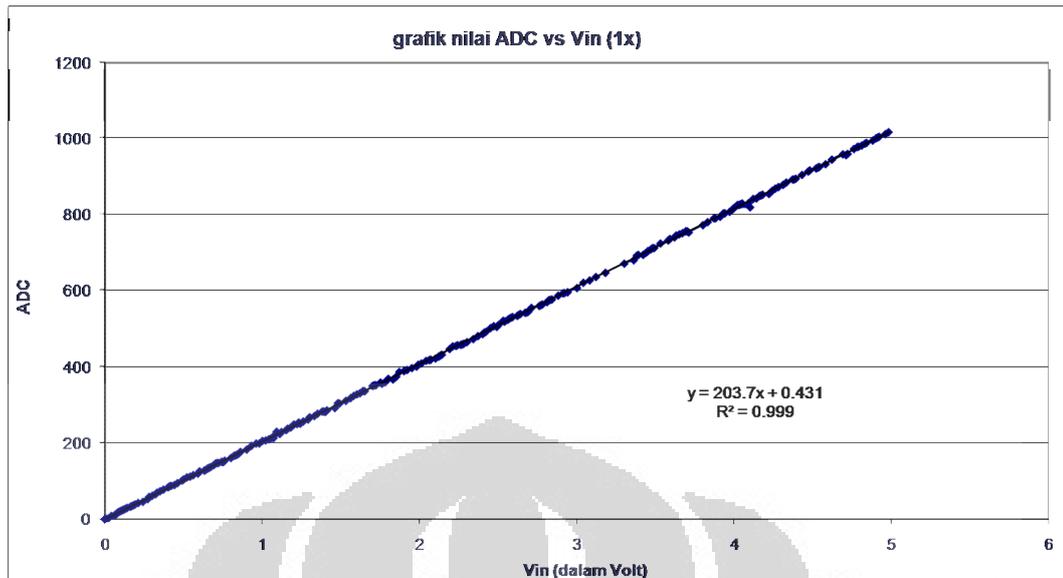
Berdasarkan hasil di atas dapat dilihat bahwa sistem dapat mengenali kartu microSD yang digunakan dengan baik, ini merupakan langkah awal sebelum dapat membaca atau menulis data pada microSD. Hal ini juga berarti modul EMS SD/MMC/FRAM berfungsi dengan baik.

4.1.6 Pengujian ADC

Pengujian ADC dilakukan dengan memberikan variasi input dari 0 V hingga 5,02 V dengan perubahan tegangan yang diusahakan sekecil mungkin yang dapat dilakukan (dalam penelitian ini diusahakan 0,01 V berdasarkan ketelitian alat ukur yang digunakan). Pengujian ini dilakukan dengan prinsip pembagi tegangan dengan menggunakan hambatan geser 100 k Ω dan sumber tegangan sama dengan sumber tegangan yang diberikan pada ATmega128 yaitu sebesar 5,02 V. Mikrokontroler ditugaskan untuk membaca nilai ADC pada kanal 0 kemudian menampilkan hasil pembacaan ke LCD.

Pada saat pengujian pertama kali hanya dilakukan satu kali *sampling*. Jadi, nilai ADC dibaca dan langsung ditampilkan pada LCD. Dengan metode satu kali *sampling* ternyata ketika mengukur tegangan yang nilainya tetap ternyata hasil yang ditampilkan pada LCD berubah-ubah walaupun masih dalam daerah yang sama. Dapat dikatakan nilainya berfluktuasi. Karena munculnya hal ini penulis akhirnya mencoba dengan menggunakan ADC ATmega128 yang lain, dan ternyata hasilnya tetap sama (berubah-ubah), begitu pula dengan ATmega32 dan ATmega16 hasilnya tetap sama. Oleh karena itu walaupun nilainya berubah-ubah penulis tetap melakukan pengambilan data (dengan menggunakan ATmega128) dengan cara mencatat nilai terbesar yang muncul pada LCD untuk setiap perubahan tegangan input. Grafik yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada gambar 4.8 dapat dilihat garis yang linear. Serta nilai $R^2 = 0.999$ yang berarti relasinya mendekati 1.

Selanjutnya dengan memanfaatkan sistem data logger yang telah berhasil dibuat didapatkan grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Proses pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan tetap pada pin ADC. Mikrokontroler membaca tegangan pada ADC kemudian data direkam pada microSD. Plot hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.8 Nilai ADC vs Vin 1x Sampling

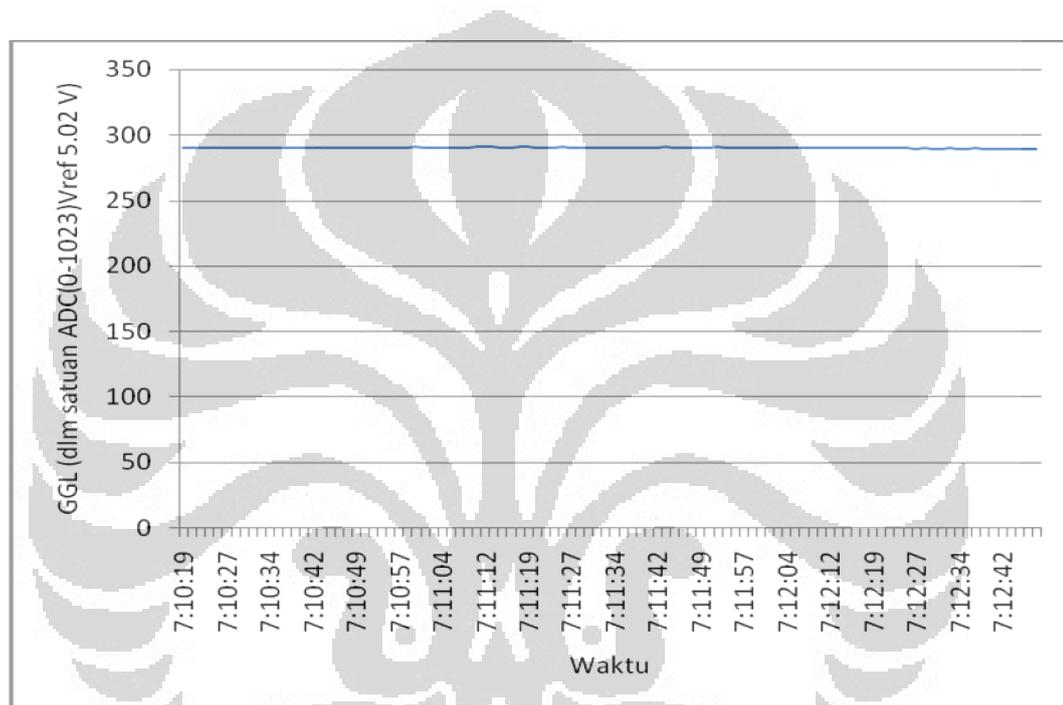


Gambar 4.9 Rekaman Nilai ADC pada 1x Sampling

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa nilai tegangan yang dibaca berubah-ubah dari 412 sampai 425. Pada gambar juga terlihat pembacaan seperti memiliki periode tertentu. Oleh karena itu penulis melakukan modifikasi program dengan metode sampling, yakni dengan cara membaca ADC beberapa kali kemudian mengambil nilai rata-rata dari pembacaan tersebut baru hasilnya ditampilkan pada LCD. Dengan mengambil sampling dalam jumlah tertentu ternyata didapatkan

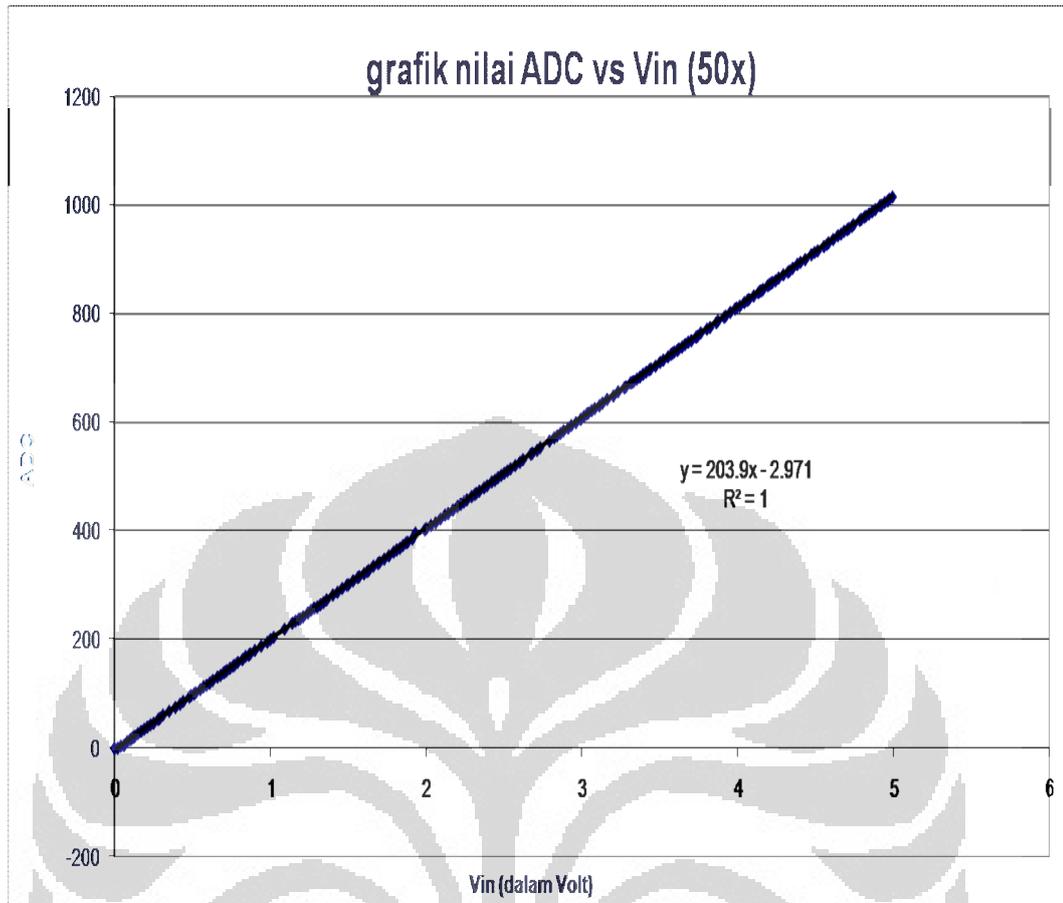
Universitas Indonesia

hasil pembacaan yang stabil. Pertama-tama dilakukan 100 kali sampling, didapatkan data yang bagus tapi waktu respon menjadi lebih lama. Kemudian sampling diperkecil agar tidak terjadi kesalahan pembacaan serta waktu baca yang cepat. Pada akhirnya penulis menggunakan 50 kali sampling karena dinilai optimal. Dengan menggunakan sistem data logger penulis merekam data pembacaan ADC dengan memberikan tegangan yang tetap pada pin ADC. Grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.10 Rekaman Nilai ADC pada 50x Sampling

Pada gambar di atas dapat dilihat pembacaan tegangan yang tetap pada pin ADC menjadi stabil. Setelah diperoleh hasil yang memuaskan ini selanjutnya diulangi langkah sebelumnya yaitu memberikan input dari 0 volt hingga 5,02 volt dengan perubahan tegangan sebesar 0,01 volt dengan tujuan mengetahui hubungan antara V_{in} dengan nilai ADC yang dibaca oleh mikrokontroler. Grafik nilai ADC vs V_{in} dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Nilai ADC vs V_{in} (50x Sampling)

Pada gambar 4.11 di atas dapat dilihat garis yang linear. Serta nilai $R^2 = 1$ yang berarti relasinya 1 yang berarti y adalah fungsi dari x .

4.1.7 Uji Kestabilan ADC

Setelah ADC dapat membaca nilai tegangan dengan baik, langkah selanjutnya adalah menguji kestabilan ADC. Hal ini perlu dilakukan sebab sistem nantinya akan digunakan dalam waktu yang lama oleh karena itu harus dipastikan bahwa nilai pembacaan ADC tidak mengalami *drift* oleh sistem minimum ATmega128 itu sendiri. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan tetap pada pin ADC kanal 0 dan sistem data logger mencatat nilai pembacaan ke mikroSD. Pengujian dilakukan selama kurang lebih 2 jam. Hasil plot data dapat dilihat pada gambar 4.12. Dapat dilihat bahwa nilai yang dibaca tetap walaupun waktu sudah berjalan selama kurang lebih dua jam. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa nilai yang nanti terbaca pada sensor merupakan nilai pembacaan sesungguhnya dari sensor, bukan kesalahan dari sistem minimum 128.



Gambar 4.12 Uji Kestabilan ADC Terhadap Pertambahan Waktu

4.2 Pengujian Sistem Data Logger

Pada pengujian sebelumnya, microSD dapat di akses dengan baik. Selanjutnya pada pengujian ini, penulis akan membuat sistem data logger secara keseluruhan. Pada dasarnya kita bisa memprogram ATmega128 untuk sistem data logger dengan berbagai cara. Namun pada penelitian ini penulis memanfaatkan CONFIG_AVR-DOS.bas dan Config_SD.bas. Pada sub bab 4.15 perancangan dasar sudah dilakukan. Selanjutnya pada bagian ini akan dijelaskan tentang alur penyimpanan data pada microSD. Proses penulisan dilakukan dengan menggunakan potongan program sbb:

```
Filename = "contoh.txt"
Open Filename For Output As #3
Print #3 , Bol ; "," ; L ; "," ; Tegang ; "," ; Tegang1
```

Dengan program tersebut maka file akan dituliskan pada direktori root microSD. Untuk memudahkan mengelola data, maka akan lebih mudah jika kita menyimpan data pada masing-masing folder. CONFIG_AVR-DOS.bas

Universitas Indonesia

memungkinkan kita untuk membuat folder dan kemudian menulis file ke dalam folder tersebut. Pada penelitian ini, penulis mencoba dua metode penyimpanan data, yakni membuat folder yang namanya terus bertambah mulai dari 0 sampai seterusnya (0, 1, 2, 3, 4, dst) serta sistem penyimpanan folder hierarki yang terdiri atas folder tahun, kemudian di dalam folder tahun ada folder bulan dan di dalam folder bulan ada folder hari serta di dalam folder hari ada folder jam.

Pada sistem yang pertama penulis memanfaatkan eeprom untuk menyimpan informasi folder yang sudah dibuat. Ketika sistem dihidupkan atau di reset maka angka pada register akan bertambah satu dan nama folder ditulis dengan perubahan register pada eeprom.

```
Dim Misa As String * 4
Dim Nama As Word
```

```
$eeprom
'$eepromhex
```

```
Data 0
$data
>Nama = 0
```

```
'Writeeeprom Nama , 0
```

```
Readeeprom Nama , 0
Misa = Str(nama)
```

```
Mkdir Misa
Nama = Nama + 1
Writeeeprom Nama , 0
```

Hasilnya adalah file *.txt disimpan kedalam folder yang berupa angka.

Pada sistem yang kedua penulisan dilakukan dengan memanfaatkan RTC untuk mengetahui waktu yang terdiri atas variable tahun, bulan, tanggal, dan jam. Potongan program dapat dilihat pada cuplikan berikut:

```
Sub Rekamgambar()
    Local Namaberkas As String * 9
    Local Targetname As String * 9
    Local Subdirectory As Byte

    Readeeprom Nama , 0
    Namaberkas = Str(nama)
    Namaberkas = Namaberkas + ".txt"

    B = Initfilesystem(1)
    Chdir "\"
    Targetname = Str(_year)
    Targetname = "Tahun" + Targetname
    Subdirectory = Dir(targetname )
```

```

If Len(subdirectory ) = 0 Then
Mkdir Targetname
End If
Chdir Targetname

Targetname = Str(_month)
Targetname = "Bulan" + Targetname
Subdirectory = Dir(targetname )
If Len(subdirectory ) = 0 Then
Mkdir Targetname
End If
Chdir Targetname

Targetname = Str(_day)
Targetname = "Hari" + Targetname
Subdirectory = Dir(targetname )
If Len(subdirectory ) = 0 Then
Mkdir Targetname
End If
Chdir Targetname

Targetname = Str(_hour)
Targetname = "Jam" + Targetname
Subdirectory = Dir(targetname )
If Len(subdirectory ) = 0 Then
Mkdir Targetname
End If
Chdir Targetname

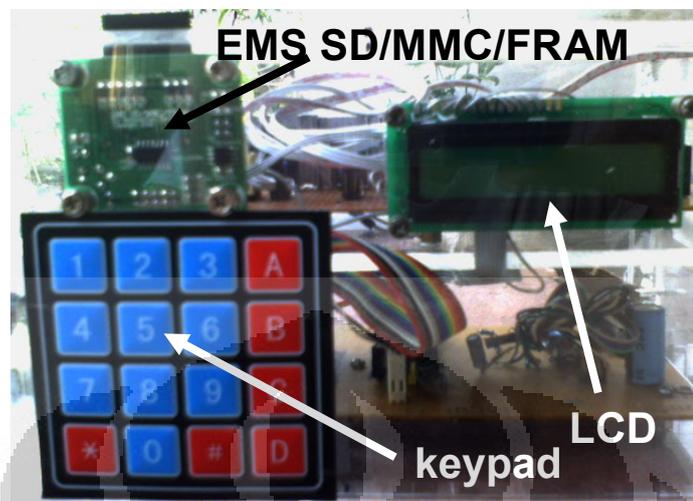
Targetname = Str(_min)
Targetname = "Menit" + Targetname
Subdirectory = Dir(targetname )
If Len(subdirectory ) = 0 Then
Mkdir Targetname
End If
Chdir Targetname

Open Namaberkas For Binary As #3
Call Jepret()
Flush #3
Close #3
Nama = Nama + 1
Writeeprom Nama , 0
End Sub

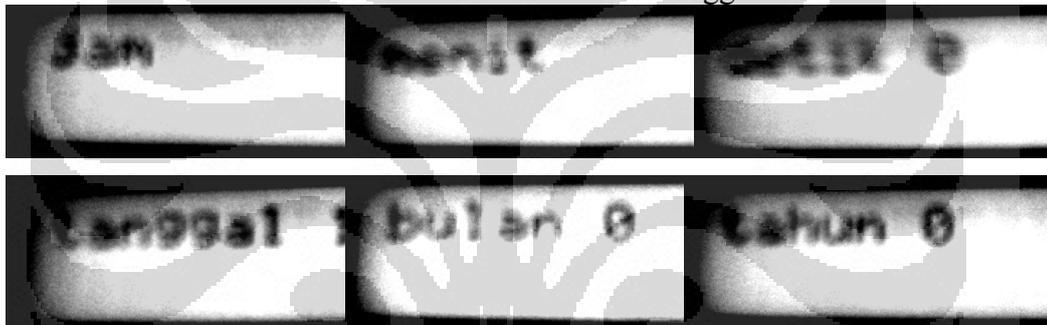
```

Dari hasil pengujian ternyata keduanya berfungsi dengan baik. Akan tetapi penulis lebih menyukai metode pertama untuk proses analisis data daripada metode kedua karena metode pertama semua file berada dalam satu folder untuk tiap kali pengambilan data. Sedangkan metode kedua cocok digunakan apabila sistem sudah jadi. Pada gambar di bawah dapat dilihat tampilan pada proses pengambilan data. Setelah menginputkan waktu dan tanggal proses pengambilan data dimulai. Data yang disimpan dibuat menjadi format csv (*comma separated*

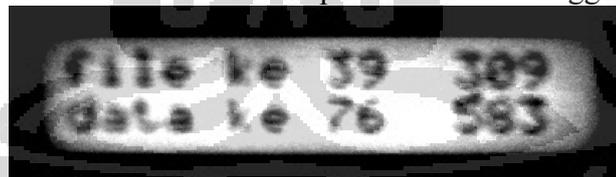
value) yaitu penulisan data dengan pemisah berupa koma. Hal ini dilakukan untuk memudahkan konversi ke excel. Pada Gambar 4.17 dapat dilihat contohnya.



Gambar 4.13 Sistem Data Logger

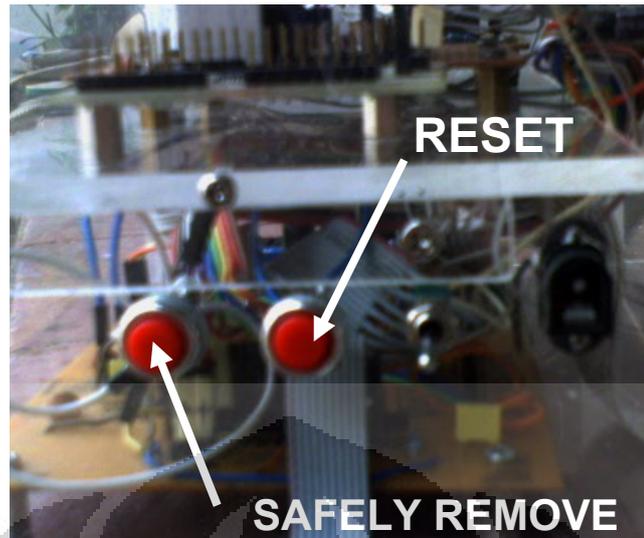


Gambar 4.14 Proses Input Waktu dan Tanggal



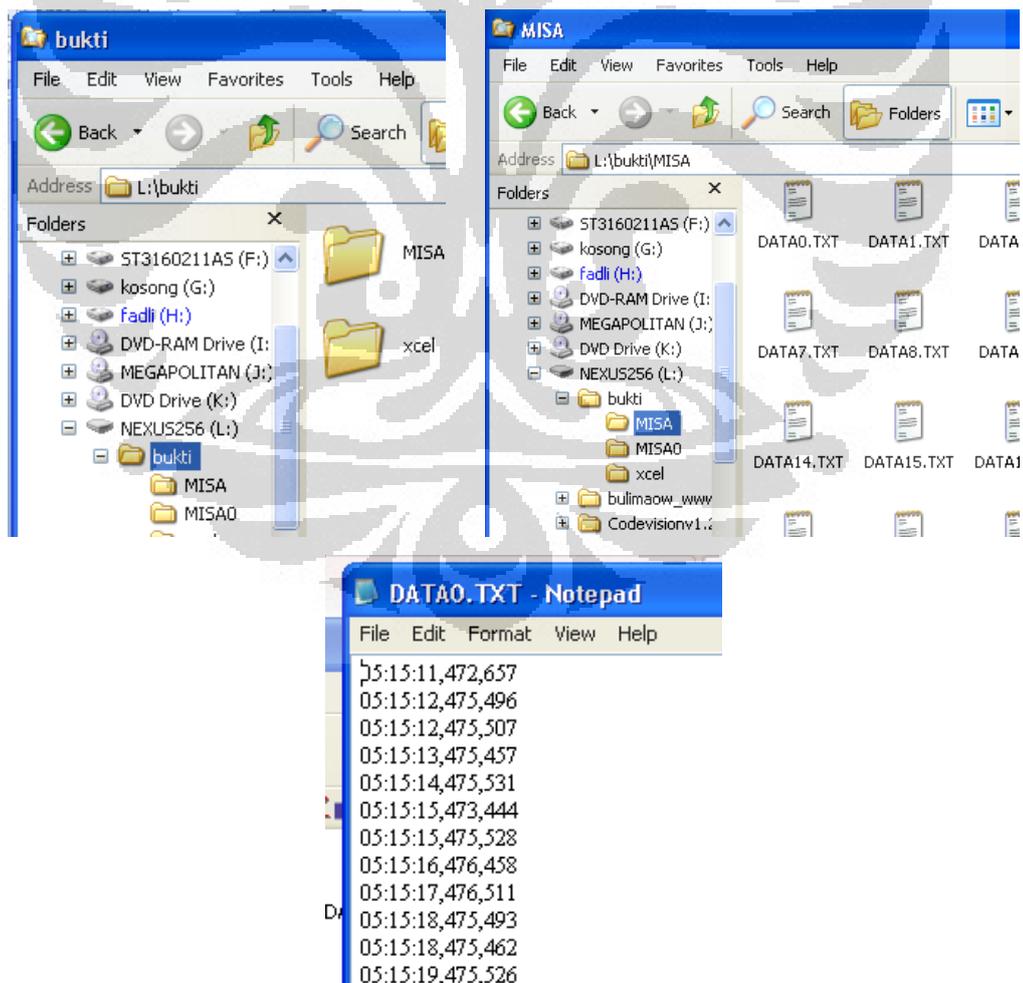
Gambar 4.15 Proses Pengambilan Data Berlangsung

Ketika kita ingin menyudahi pengambilan data dapat dilakukan dengan memutuskan sumber tegangan dari sistem atau mereset sistem. Akan tetapi apabila menggunakan kedua cara ini maka file terakhir yang ditulis ketika sistem dimatikan atau direset tidak akan tersimpan/hilang. Oleh karena itu penulis membuat tombol yang berfungsi untuk *safely remove microSD card* yang berfungsi menghentikan proses penyimpanan pada data terakhir dan kemudian menyimpan file terakhir. Fungsi tombol ini seperti *safely remove usb* seperti yang ada pada sistem operasi windows. Setelah tombol ini ditekan maka kita dapat mencabut microSD card dengan aman.



Gambar 4.16 Tombol Reset dan Safely Remove

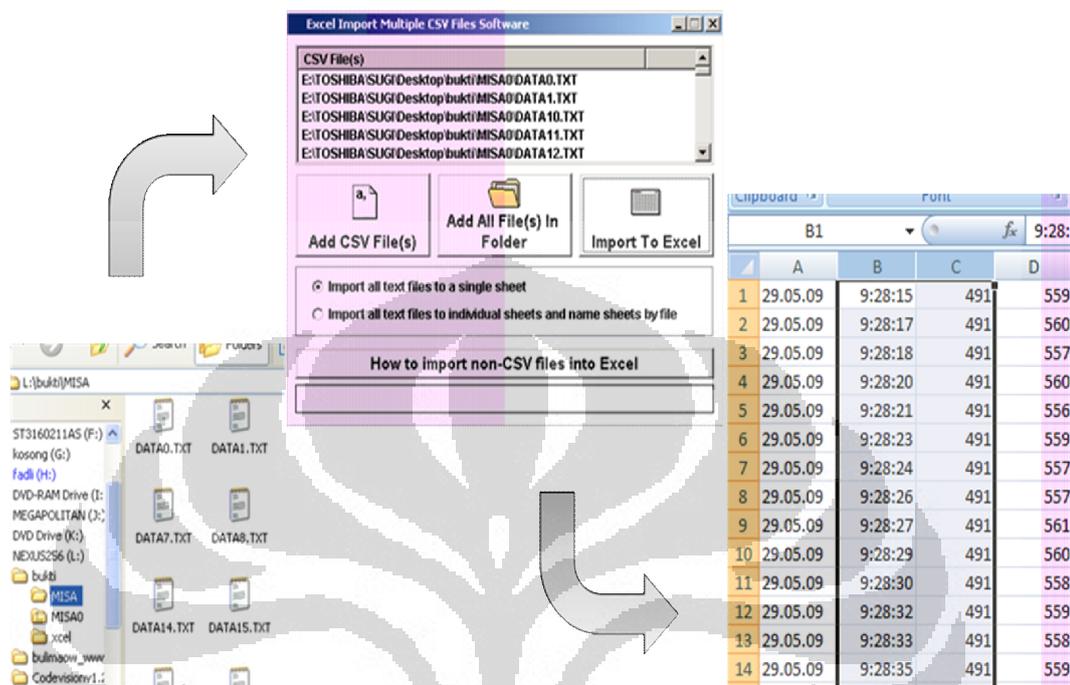
Setelah mencabut kartu microSD kita dapat langsung membaca datanya pada PC dengan menggunakan card reader untuk diolah lebih lanjut.



Gambar 4.17 Struktur Folder, File, dan Data pada MicroSD Card

Universitas Indonesia

Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Excel dan untuk mengubah dari csv ke excel digunakan software Excel Import Multiple CSV Files. Skema pengolahan data dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.18 Konversi File csv ke Excel

Langkah selanjutnya adalah pembuatan grafik dengan fasilitas yang ada pada excel. Grafik yang dibuat merupakan grafik historis besarnya perubahan nilai sensor seiring dengan perubahan waktu. Fungsi yang mengubah nilai tegangan sensor adalah faktor luar seperti konsentrasi karbondioksida atau suhu udara disekitar.

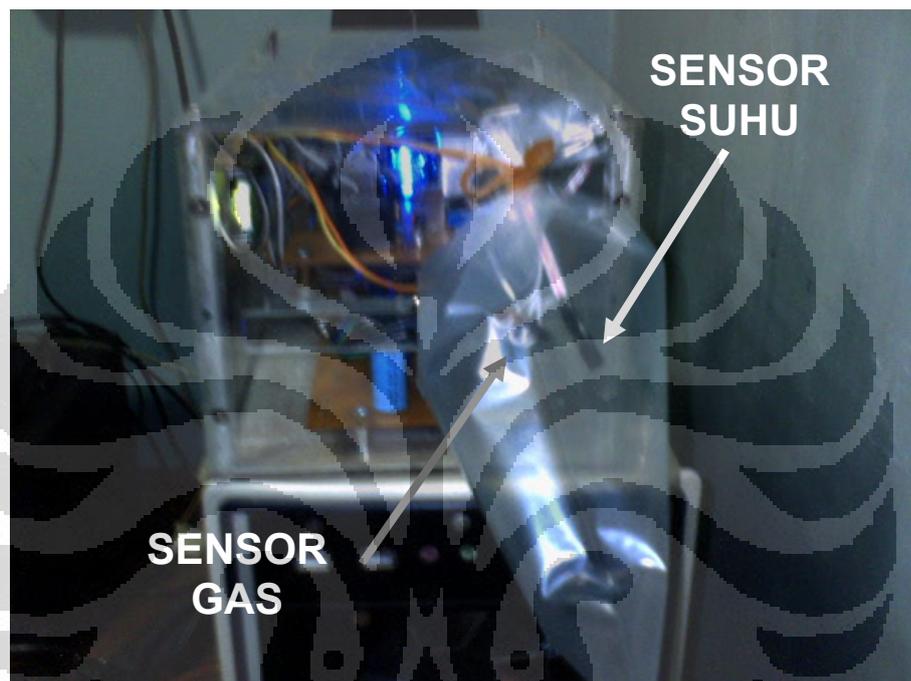
4.3 Karakterisasi Sensor

Pada *datasheet* yang diberikan oleh Figaro dijelaskan mengenai karakteristik sensor gas TGS4161. Akan tetapi pada kenyataannya apa yang dijelaskan pada *datasheet* belum tentu sesuai dengan kondisi real di lapangan. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi sensor untuk selanjutnya membuat algoritma program.

4.3.1 Pengambilan Data dengan Sensor Diletakkan pada Ruang Tertutup

Proses karakterisasi yang pertama kali dilakukan adalah dengan mengoperasikan sensor TGS4161 dan sensor suhu pada ruang tertutup. Untuk

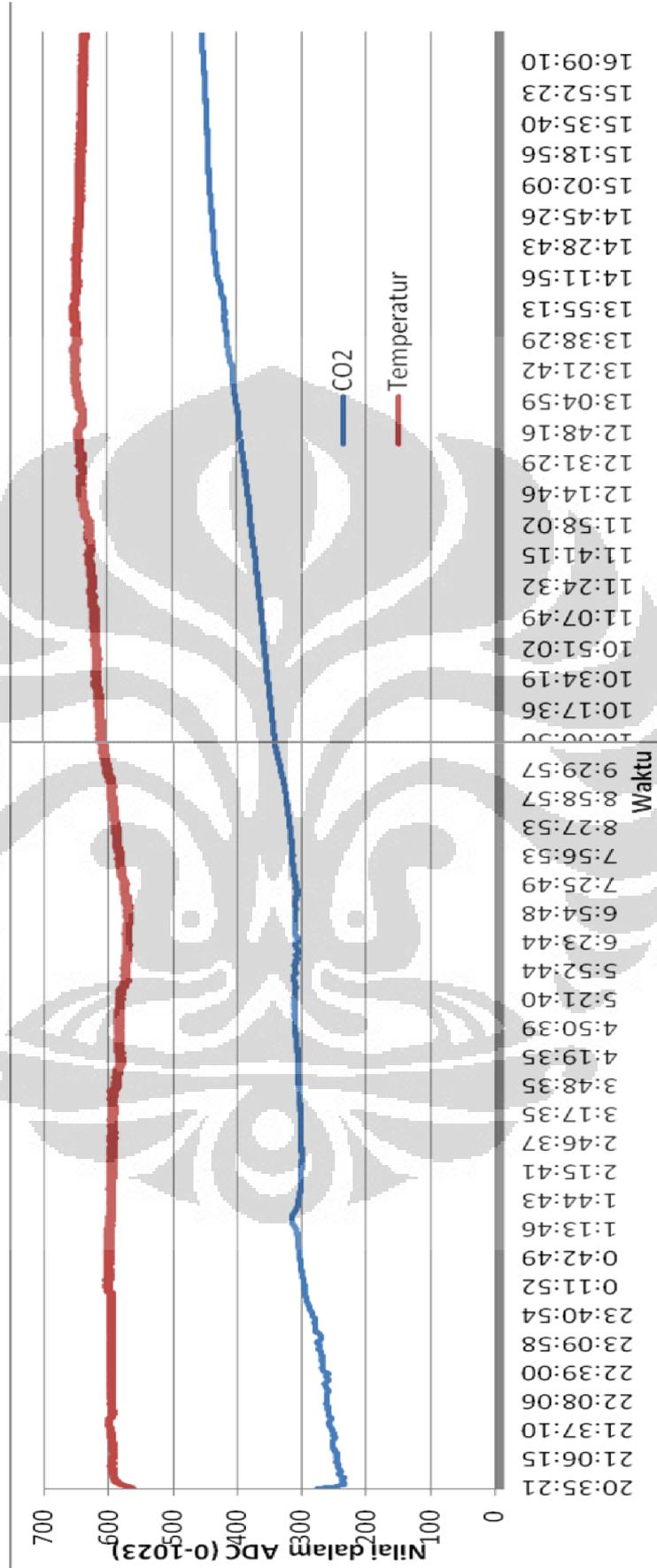
melakukan penelitian ini sensor gas TGS4161 dan sensor suhu dibungkus kantung plastik yang tertutup rapat. Hal ini dimaksudkan untuk melihat bagaimana respon sensor ketika diletakkan dalam suatu ruangan tertutup yang memiliki konsentrasi karbon dioksida yang dianggap tetap karena tidak ada aliran udara masuk dan keluar dari kantung plastik. Proses pengambilan data dilakukan dalam jangka waktu lebih dari satu hari. Proses pengambilan data dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.19 Karakterisasi Sensor dengan Diletakkan dalam Kantung Plastik

Pada gambar 4.20 diperlihatkan hasil pengamatan selama kurang lebih satu hari satumalam, dari grafik dapat dilihat bahwa nilai pembacaan tegangan sensor berubah ketika suhu berubah. Ketika suhu mulai naik terlihat nilai tegangan sensor gas menjadi naik. Sedangkan pada bagian dimana suhunya stabil tegangan sensor juga stabil. Hal ini memperlihatkan bahwa sensor terpengaruh terhadap perubahan suhu lingkungan. Pada grafik bagian yang stabil diperkirakan suhu lingkungan sekitar 30°C. Kenaikan suhu juga dimungkinkan akibat sensor diletakkan pada plastik tertutup, sensor memiliki pemanas dan mungkin saja terjadi akumulasi panas pada plastik tersebut sebab tidak ada aliran udara dari dalam plastic ke luar plastik. Oleh karena itu pada pengoperasian sensor ini suhu udara disekeliling sensor harus diupayakan konstan.

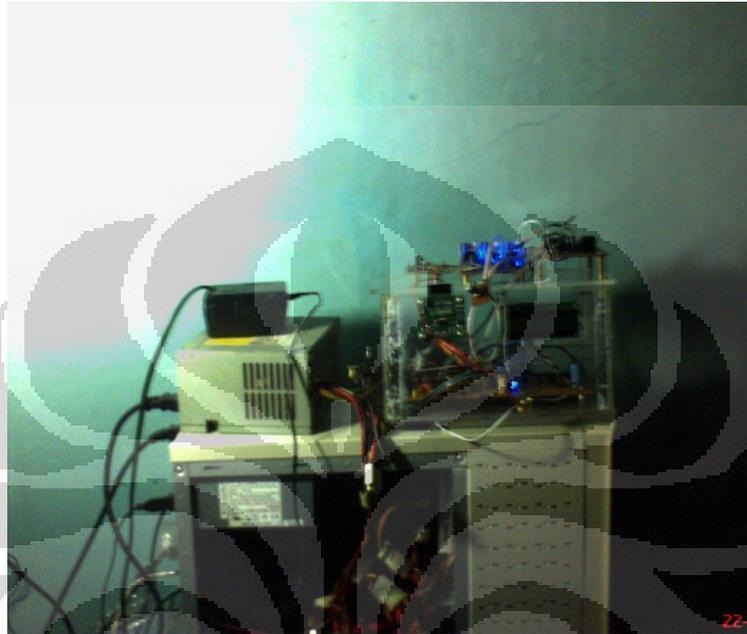
Grafik CO2 dan Temperatur Ketika Sensor Dioperasikan Pada Tempat yang Tertutup



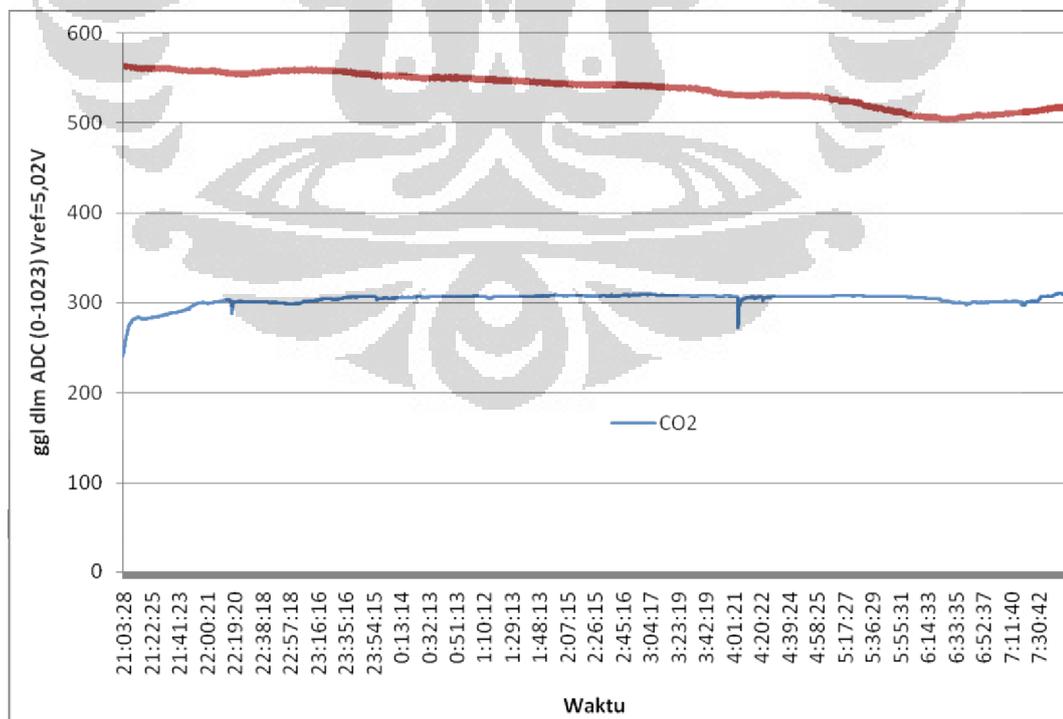
Gambar 4.20 Grafik CO2 dan Temperatur Ketika Sensor Dioperasikan Pada Tempat yang Tertutup

4.3.2 Pengambilan Data di Dalam Ruangan

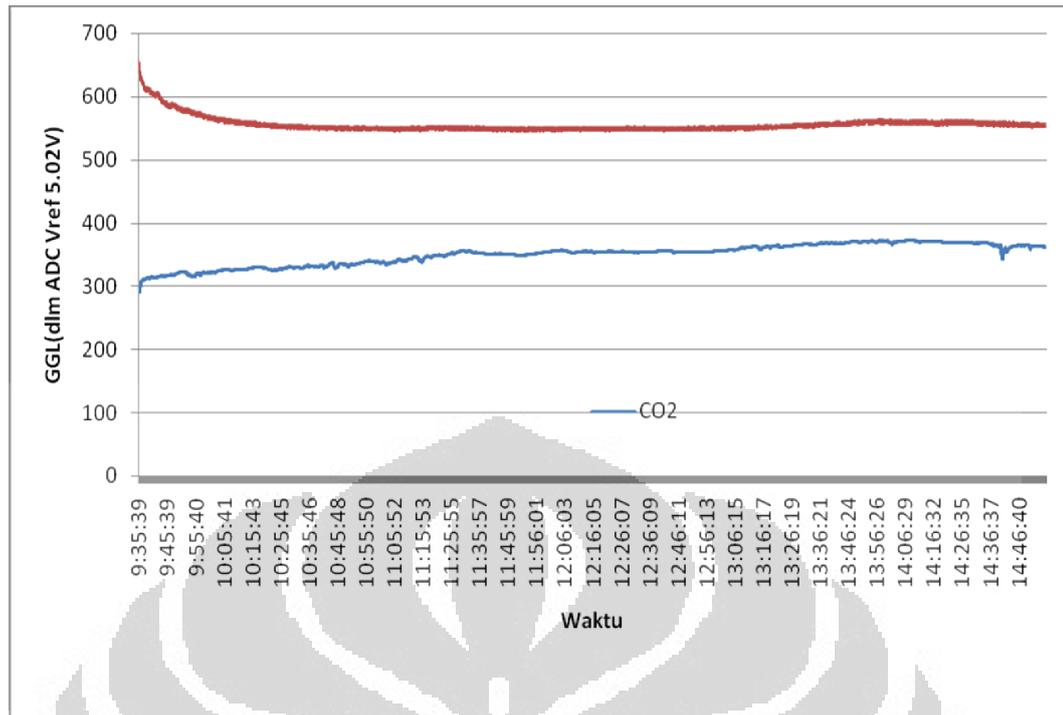
Pengujian selanjutnya dilakukan di dalam ruangan. Sensor dibiarkan terpapar dengan udara dalam ruangan. Proses pengambilan data dilakukan selama beberapa hari. Set pengambilan data dan grafik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.21 Proses Pengambilan Data di Dalam Ruangan



Gambar 4.22 Grafik Pengambilan Data di Dalam Ruangan pada Tanggal 27-5-09



Gambar 4.23 Grafik Pengambilan Data di Dalam Ruangan pada Tanggal 21-5-09

Pada kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa ggl yang dihasilkan sensor cenderung stabil untuk suhu ruangan yang stabil.

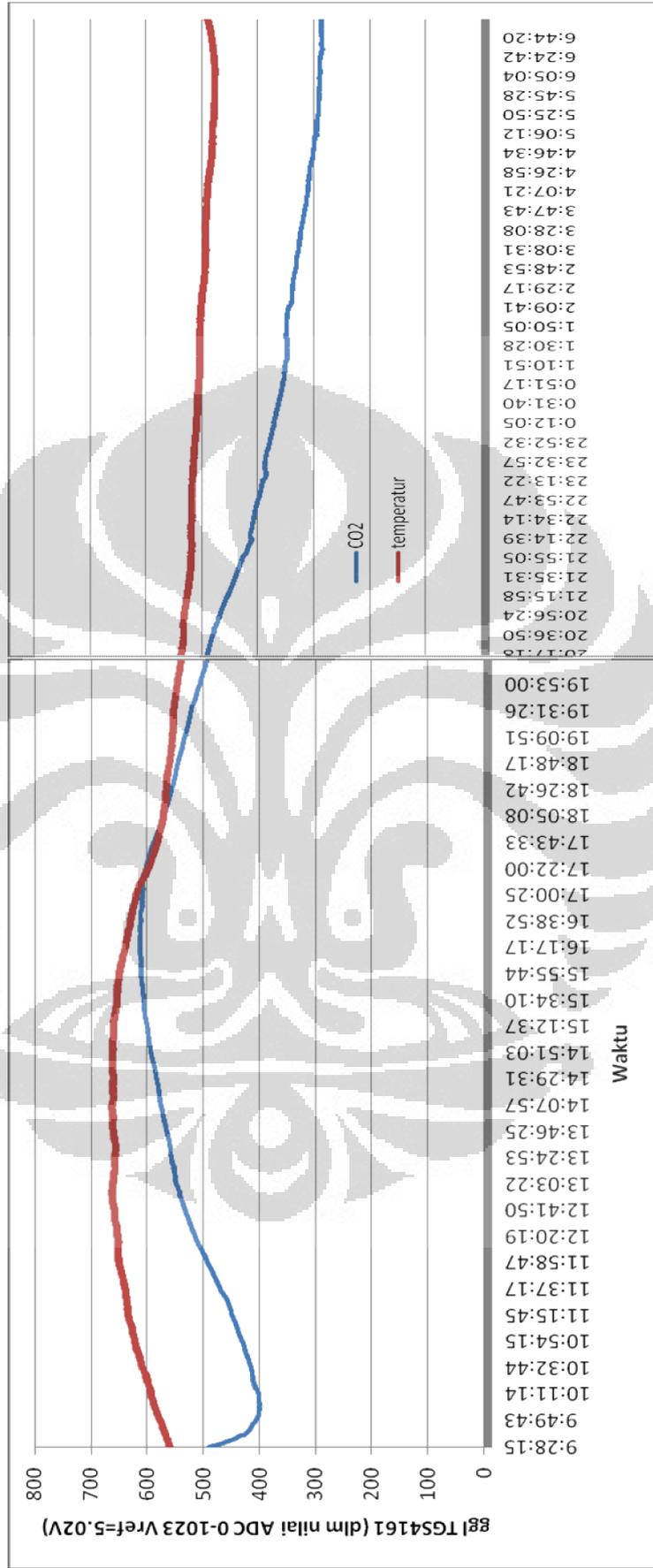
4.3.3 Pengambilan Data di Luar Ruangan

Proses selanjutnya adalah mengambil data di luar ruangan. Set pengambilan data dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Sensor diletakkan di luar ruangan untuk melihat apakah ada perbedaan dengan percobaan yang dilakukan sebelumnya. Serta untuk melihat apakah memungkinkan sensor ini digunakan di luar ruangan.



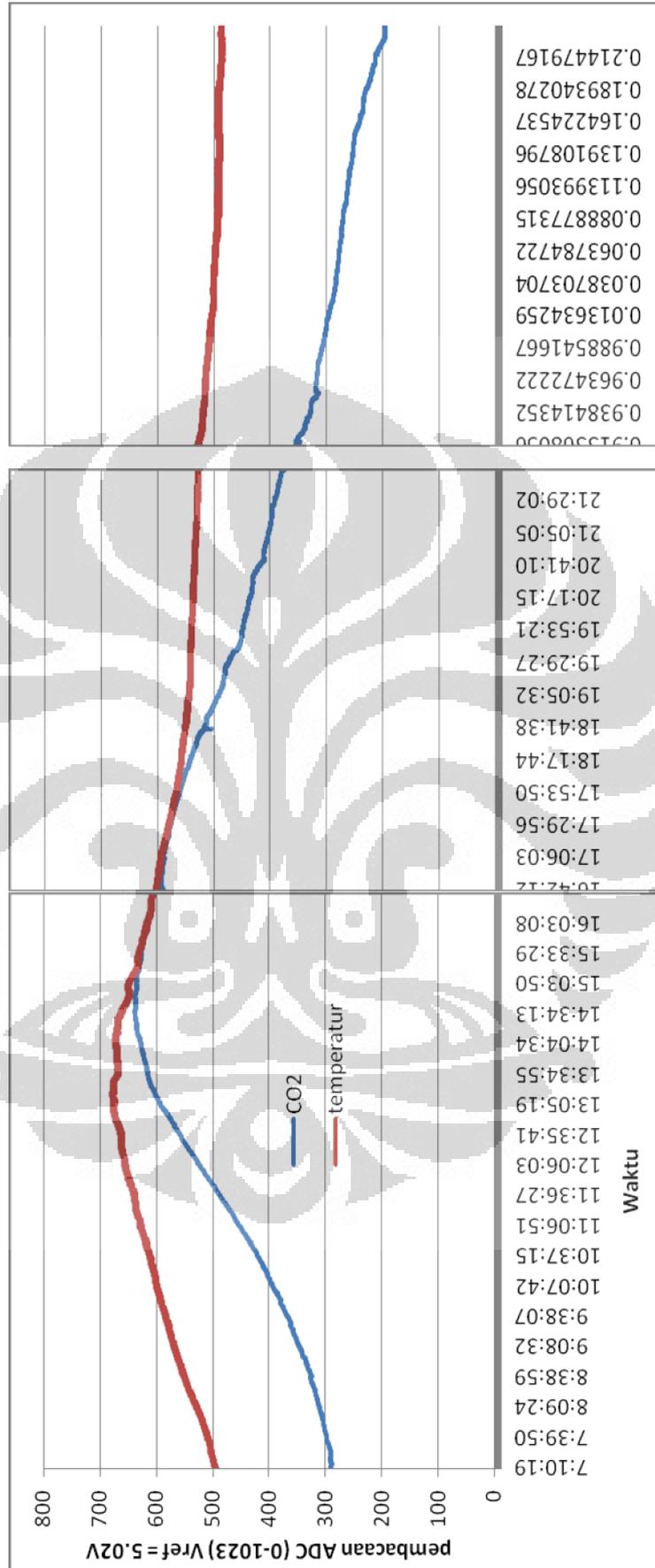
Gambar 4.24 Proses Pengambilan Data di Luar Ruangan

Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 29-5-09



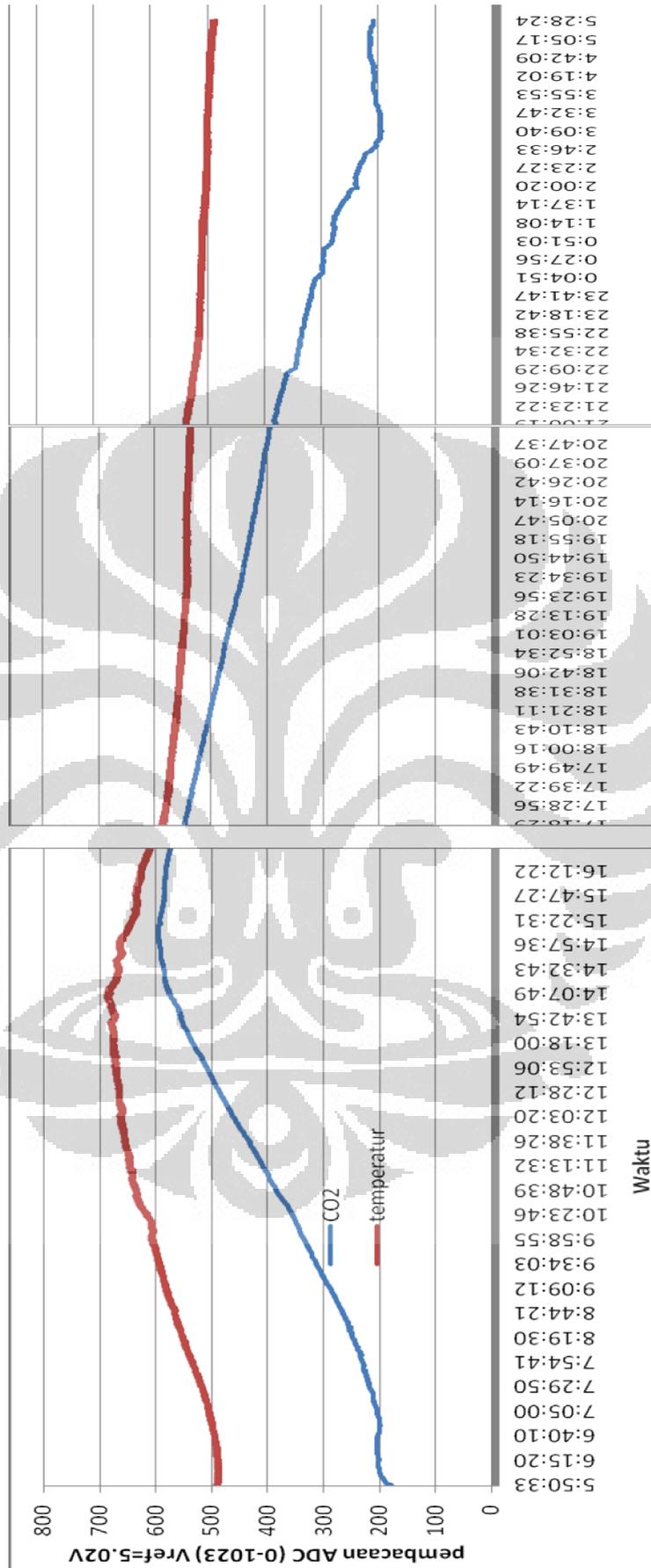
Gambar 4.25 Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 29-5-09

Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 30-5-09



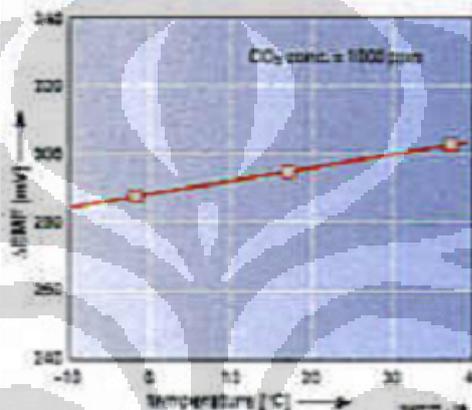
Gambar 4.26 Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 30-5-09

Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 31-5-09



Gambar 4.27 Grafik Pengambilan Data di Luar Ruangan pada Tanggal 31-5-09

Dari ketiga grafik di atas dapat dilihat bahwa ketiganya memiliki pola yang sama, yang dapat diartikan sensor ini *repeateable*. Dari ketiga grafik di atas dapat dilihat bahwa tegangan tertinggi berada pada sekitar pukul 13.00 sampai pukul 15.00. Jika dilakukan analisa singkat ada keganjilan pada Δggl . Δggl seharusnya tidak boleh lebih besar dari 90 mV (untuk 0-10.000ppm), akan tetapi dari ketiga grafik di atas nilainya lebih dari 90 mV. Ini berarti ggl TGS4161 meningkat akibat meningkatnya temperatur seperti dapat dilihat pada ketiga grafik di atas. Ternyata hasil ini sesuai dengan yang dinyatakan pada *datasheet*.

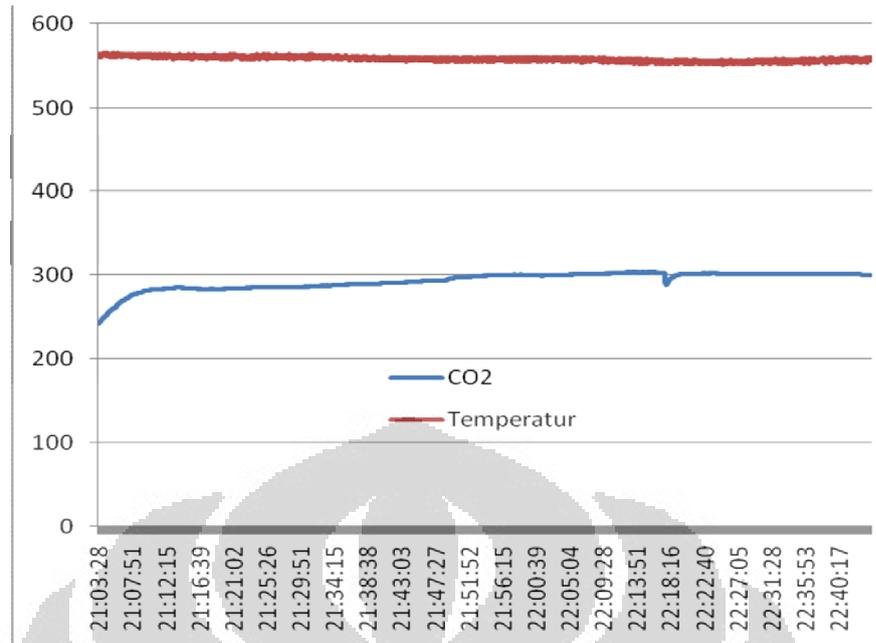


Gambar 4.28 Pengaruh Suhu Terhadap ggl Sensor pada Konsentrasi CO₂ Tetap
Sumber: Voit, 2004, p. 49

Oleh karena itu pada saat pengoperasian sensor harus dijaga pada suhu yang stabil sehingga yang dibaca adalah ggl yang muncul akibat karbondioksida bukannya ggl akibat *drift* oleh suhu.

4.3.4 Ggl TGS4161 yang Lebih Rendah Pada Proses Pemanasan

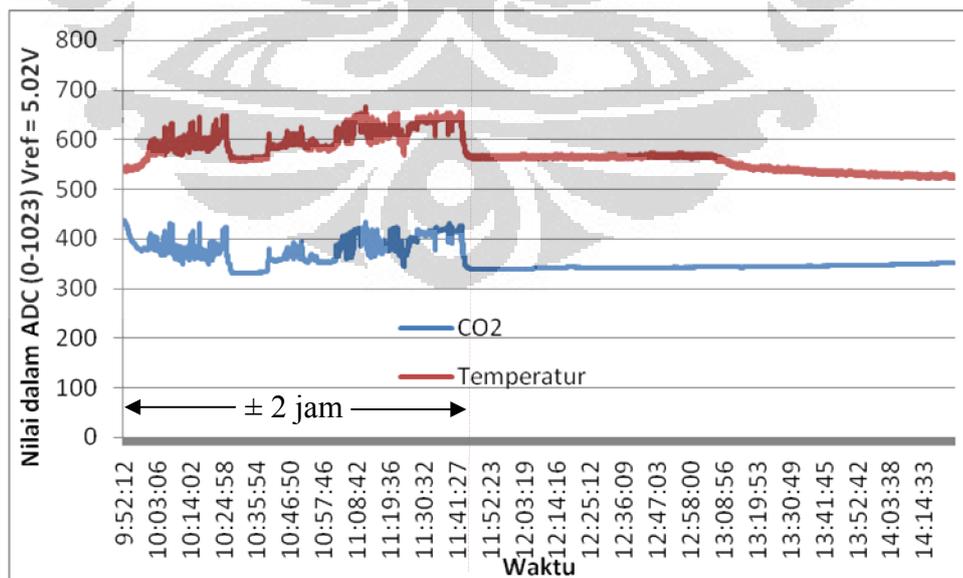
Pada *datasheet* juga dijelaskan sebelum dapat memulai melakukan pengukuran, sensor harus melalui proses pemanasan (*warming up*) heater. Hal ini harus dilakukan agar kondisi operasi sensor optimal, sehingga pembacaan yang dilakukan oleh *sensing element* adalah pembacaan yang benar. Lama pemanasan ini minimal 2 jam ketika lama tidak digunakan. Sedangkan apabila sudah tidak digunakan dalam jangka waktu yang cukup lama maka diperlukan waktu 2 hari untuk mengembalikan ggl sensor pada kondisi semula. Grafik dibawah ini menunjukkan karakteristik sensor ketika tidak digunakan dalam waktu 1 hari. Pada grafik dapat dilihat bahwa ggl sensor naik seiring dengan pertambahan waktu.



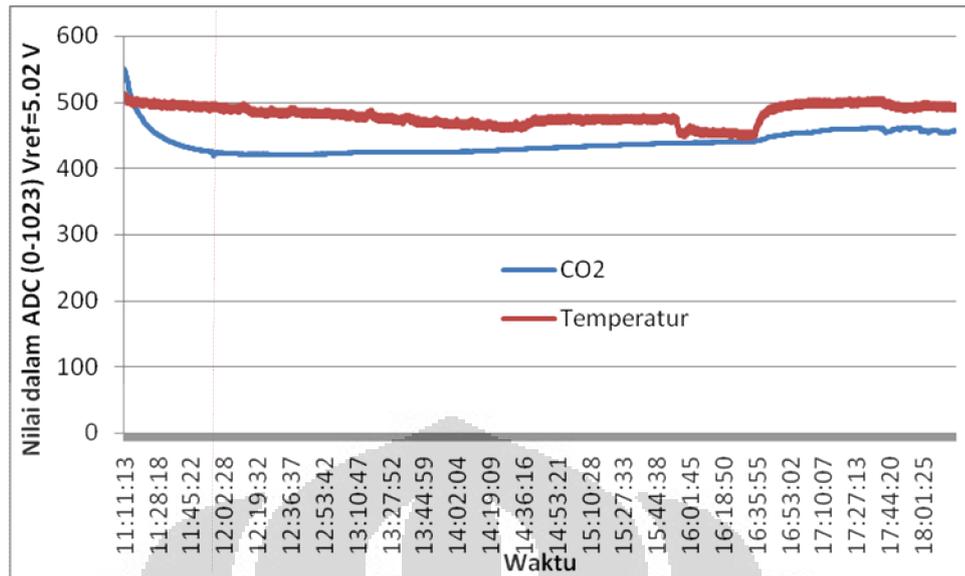
Gambar 4.29 Ggl TGS4161 yang Lebih Rendah Pada Proses Pemanasan

4.3.5 Ggl TGS4161 yang Lebih Tinggi Pada Proses Pemanasan

Apabila sensor telah digunakan, dan kita ingin menggunakannya kembali dengan jeda waktu yang tidak cukup lama, maka sensor akan menyimpan nilai tegangan sebelumnya. Untuk kasus ini tegangan awal sensor akan lebih tinggi dibandingkan apabila proses pemanasan telah selesai. Pada gambar di bawah ini ditunjukkan data tersebut. Pada gambar juga dapat dilihat bahwa waktu untuk mencapai stabil sekitar 2 jam.



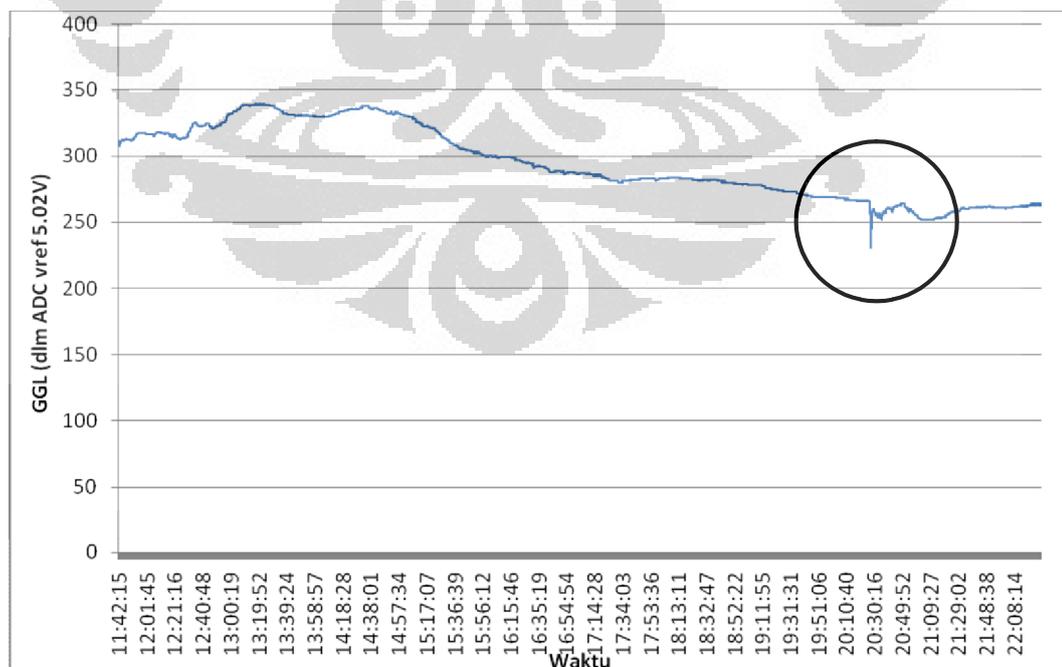
Gambar 4.30 Ggl TGS4161 yang Lebih Tinggi Pada Proses Pemanasan 1



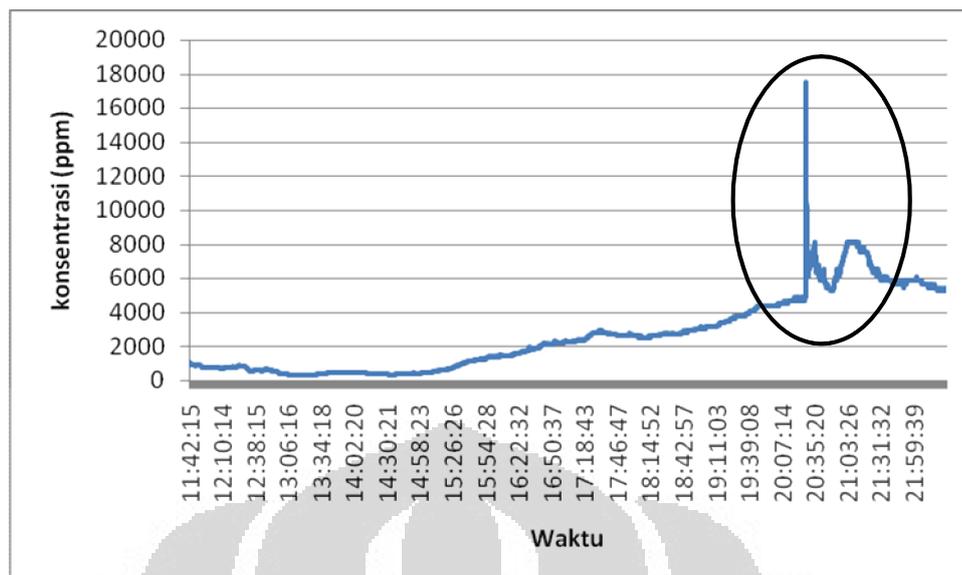
Gambar 4.31 Ggl TGS4161 yang Lebih Tinggi Pada Proses Pemanasan 2

4.3.6 Tegangan yang Jatuh Drastis pada Waktu yang Singkat

Pada data pengamatan kadang ditemukan tegangan yang jatuh dengan sangat cepat. Setelah itu kembali lagi ke posisi semula. Hal ini mengakibatkan apabila dilakukan proses perhitungan ppm nilainya akan melebihi dari kemampuan sensor. Hal ini ditengarai merupakan *error* dari sensor sehingga apabila terjadi hal ini maka datanya tidak valid.



Gambar 4.32 Ggl yang Jatuh Drastis pada Waktu yang Singkat



Gambar 4.33 Ppm yang Naik Drastis pada Waktu yang Singkat

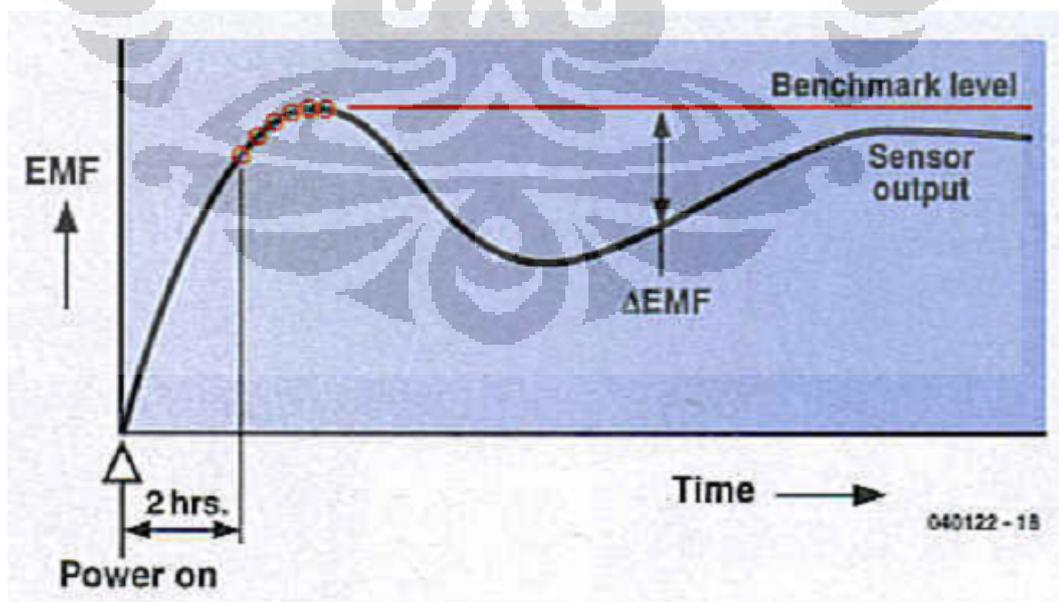
4.4 Algoritma Sistem

Setelah mengetahui karakteristik sensor dengan baik, barulah dapat dibuat algoritma sistem yang sesuai. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan diagram alir sistem secara garis besar. Sedangkan pada bagian ini akan dijelaskan secara lebih mendetail mengenai cara kerja sistem ketika berada dalam modus ventilasi.

Ketika alat ini dihidupkan, maka sistem akan memberikan pilihan kepada pengguna apakah ingin memilih modus pengukuran analitik atau modus ventilasi otomatis. Ketika dipilih modus ventilasi otomatis maka alat ini akan menanyakan kepada pengguna berapa ambang batas (dalam ppm) untuk mengaktifkan relay (standarnya 1500 ppm).

Setelah memasukkan ambang batas, maka proses selanjutnya adalah proses *warming up* sensor. Pada tahap ini *heater* akan memanaskan sensor hingga mencapai suhu operasi optimum. Proses ini berlangsung kurang lebih selama 2 jam. Selama 2 jam ini mikrokontroler akan *idle*. Sebelum *idle* mikrokontroler mengaktifkan interrupt timer. Timer di set untuk menghitung mundur selama 2 jam. Setelah 2 jam program akan menginterrupt mikrokontroler untuk bangun dari posisi *idle* untuk masuk ke dalam instruksi selanjutnya. Proses selanjutnya adalah mencari nilai referensi atau *benchmark level*. *Benchmark level* adalah nilai tertinggi pada pembacaan ADC pada kanal yang terhubung dengan sensor gas. *Benchmark level* ini merupakan nilai dimana *ggl* menunjukkan konsentrasi CO₂

sekitar 400 ppm. Perlunya dicari nilai tersebut karena prinsip kerja sensor ini adalah mengukur Δggl , karena Δggl sebanding dengan perubahan konsentrasi. Untuk konsentrasi karbon dioksida 400 ppm, ggl yang dihasilkan sensor belum tentu sama, akan tetapi Δggl nya akan sebanding dengan perubahan konsentrasi. Sehingga untuk selanjutnya yang kita hitung adalah Δggl nya. Proses pencarian nilai tertinggi tidak dilakukan pada saat sistem baru dihidupkan/pada proses pemanasan dikarenakan seperti diperlihatkan pada gambar 4.28, gambar 4.29, dan gambar 4.30. ada kasus tegangan awal lebih tinggi dan tegangan awal lebih rendah. Apabila tegangan awal lebih rendah hal ini dapat dilakukan, sedangkan apabila tegangan awal lebih tinggi maka metode ini tidak dapat dilakukan sebab pada awal pembacaan nilai yang dibaca sudah nilai yang tinggi. Idealnya pencarian nilai referensi ini dilakukan selama 2 jam. Selama 2 jam ini mikrokontroler membaca ggl sensor dan menyimpannya ke dalam register, kemudian membaca lagi lalu membandingkan nilainya dengan nilai yang tersimpan pada register sebelumnya jika nilai yang sekarang dibaca lebih besar maka nilai ini disimpan menggantikan register sebelumnya namun jika lebih kecil maka nilai ini tidak disimpan dan dilanjutkan dengan proses pembacaan selanjutnya. Proses ini dilakukan selama 2 jam. Setelah 2 jam maka nilai yang paling besar adalah nilai referensi.



Gambar 4.34 Menentukan Level Referensi pada Program

Sumber: Voit, 2004, p. 49

Nilai yang dibaca oleh mikrokontroler ini masih merupakan nilai perbandingan terhadap tegangan referensi ADC. ADC pada ATmega128 adalah ADC 10-bit. Oleh karena itu skala pembacaan terbagi menjadi 1024 yakni dari 0 sampai 1023 dengan tegangan referensi yang digunakan adalah 5,02 volt. Nilai yang dibaca ini juga bukan ggl sensor sesungguhnya, melainkan ggl sensor yang telah diperkuat oleh pengkondisi sinyal, sebab sensor gas ini tidak dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat ukur dengan impedansi yang rendah. Nilai ggl sensor yang sesungguhnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = (N/1024) * V_{ref} \quad (4.1)$$

Karena tegangan referensi yang digunakan adalah 5,02 V atau 5020 mV, maka:

$$V = (N/1024) * 5020 \text{ mV} \quad (4.2)$$

$$V = N * 4,9 \text{ mV} \quad (4.3)$$

Dengan, V = tegangan yang dibaca

N = nilai ADC yang terbaca

V_{ref} = tegangan referensi

V disini merupakan tegangan yang keluar dari pengkondisi sinyal, sehingga jika kita ingin mendapatkan ggl sensor maka kita harus membagi V dengan penguatan oleh TLC271.

$$ggl = V/A \quad (4.4)$$

dengan memasukkan persamaan (4.3) ke dalam persamaan (4.4) dengan A = 5,01 kali, maka diperoleh,

$$ggl = (N * 4,9 \text{ mV})/5,01 \quad (4.5)$$

$$ggl = 0,978 * N \text{ mV} \quad (4.6)$$

Dengan, ggl = tegangan yang dihasilkan oleh sensor

A = besarnya penguatan oleh pengkondisi sinyal

Penghitungan konsentrasi karbondioksida dalam ppm dilakukan dengan menghitung Δggl kemudian membandingkan Δggl ini dengan grafik yang ada pada *datasheet*. Δggl dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sbb:

$$\Delta ggl = ggl_2 - ggl_1 \quad (4.7)$$

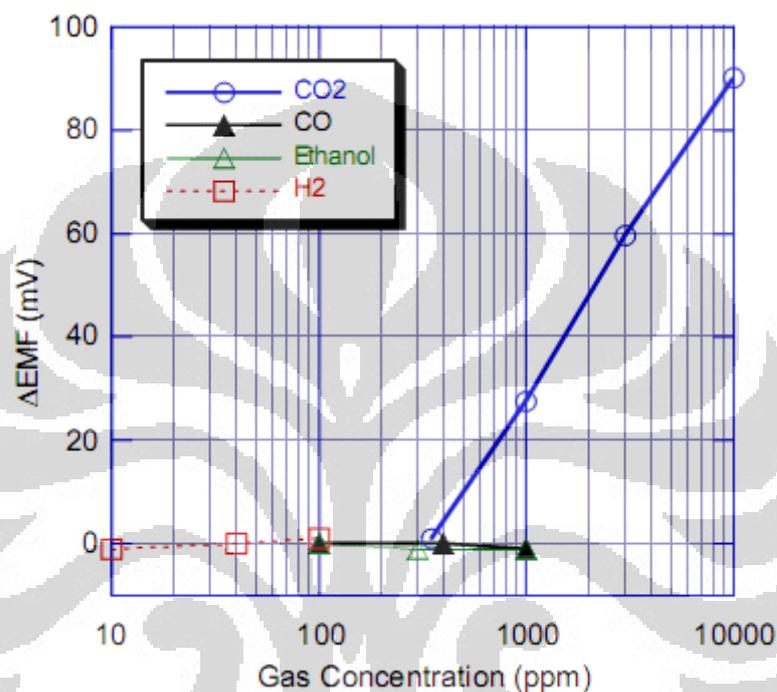
Dengan, Δggl = beda potensial antara pengukuran saat ini dengan benchmark level

ggl_1 = ggl pada benchmark level

ggl_2 = ggl pada pengukura saat ini

Nilai Δggl haruslah positif. Apabila dari hasil perhitungan didapatkan Δggl bernilai negatif maka sistem harus kembali melakukan pencarian level referensi/*benchmark level* kembali. Setelah didapatkan maka sistem akan kembali melakukan perhitungan.

Informasi yang diberikan oleh Figaro pada *datasheet* hanya berbentuk grafik yang menunjukkan hubungan ΔEMF dengan konsentrasi gas.



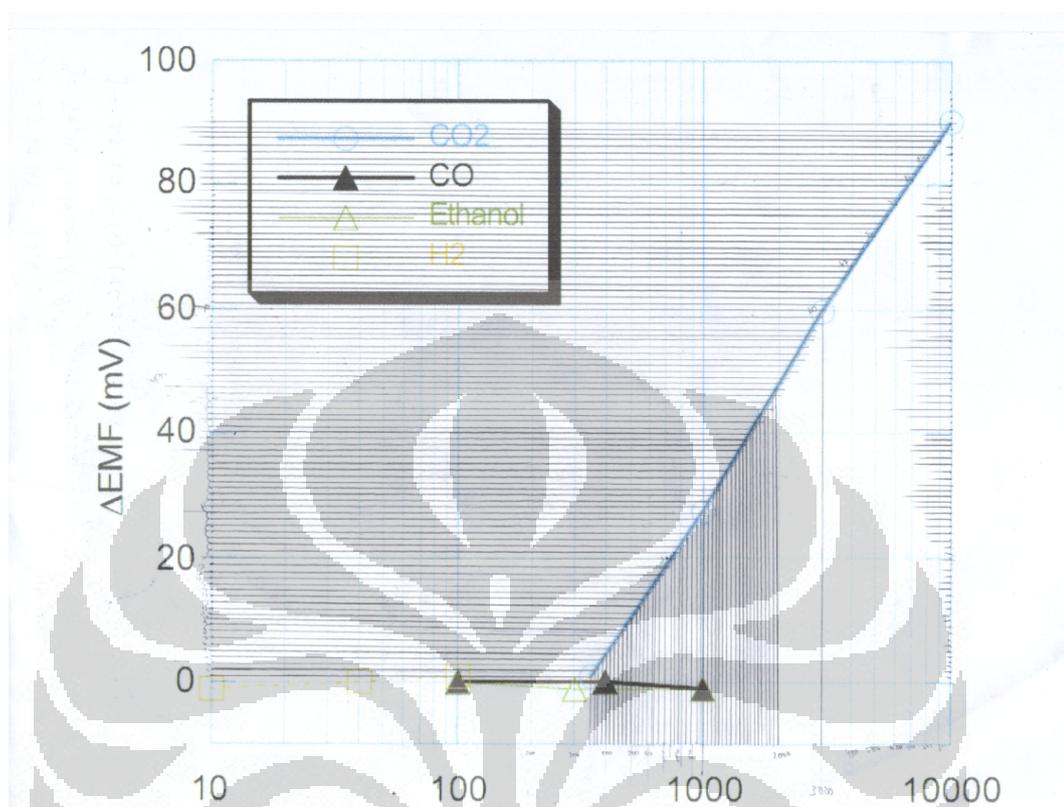
Gambar 4.35 Sensitifitas Terhadap Macam-macam Gas

Sumber: Figaro, 2008

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa sebenarnya pengujian dilakukan Figaro pada 4 titik, yakni pada konsentrasi karbon dioksida 350 ppm, 1000 ppm, 3000 ppm dan 10.000 ppm. Nilai-nilai diantara nilai tersebut adalah hasil interpolasi. Pada grafik tidak diberikan persamaan garisnya oleh karena itu kita harus mencarinya sendiri. Grafik tersebut dibuat pada kertas semilog. Pada sumbu-y skalanya linear sedangkan pada sumbu-x skalanya logaritmik. Untuk mendapatkan persamaan garis perlu dilakukan rekonstruksi grafik kedalam skala linear baik untuk sumbu-x dan sumbu-y sehingga memudahkan kita untuk mendapatkan persamaan garis dengan fasilitas yang ada pada Excel. Untuk dapat melakukan hal itu kita perlu mencari satu persatu pasangan nilai x dan y dengan bermodalkan grafik seperti yang ada pada gambar 4.35. Adapun cara yang

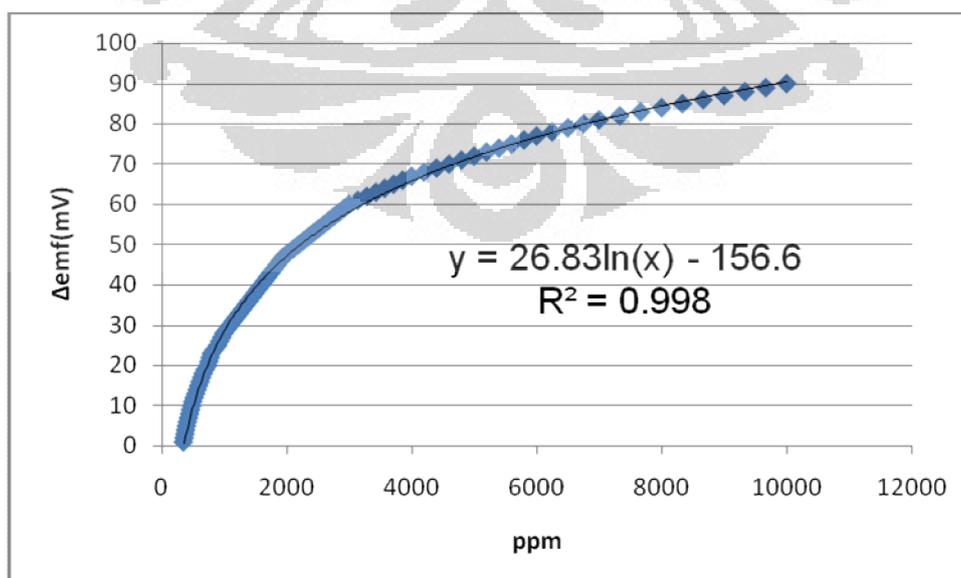
Universitas Indonesia

dilakukan oleh penulis adalah mencari titik temu Δ EMF dan konsentrasi dengan menggunakan penggaris seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.36 Proses rekonstruksi Grafik

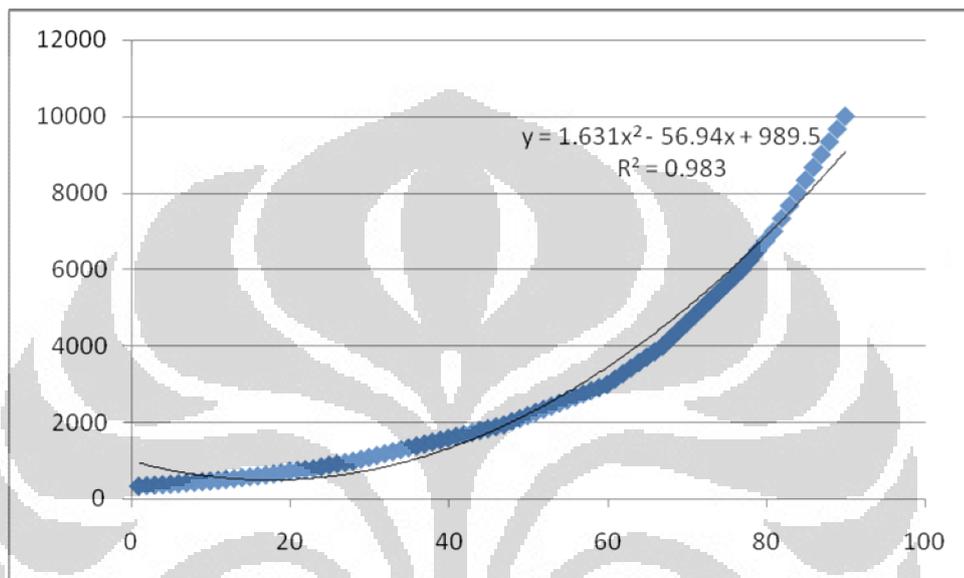
Setelah diplot pada excel maka hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Dengan menggunakan *fitting* logaritmik pada excel diperoleh persamaan garis seperti yang terlihat pada gambar 4.37.



Gambar 4.37 Grafik Δ ggl Fungsi ppm pada Skala Linear

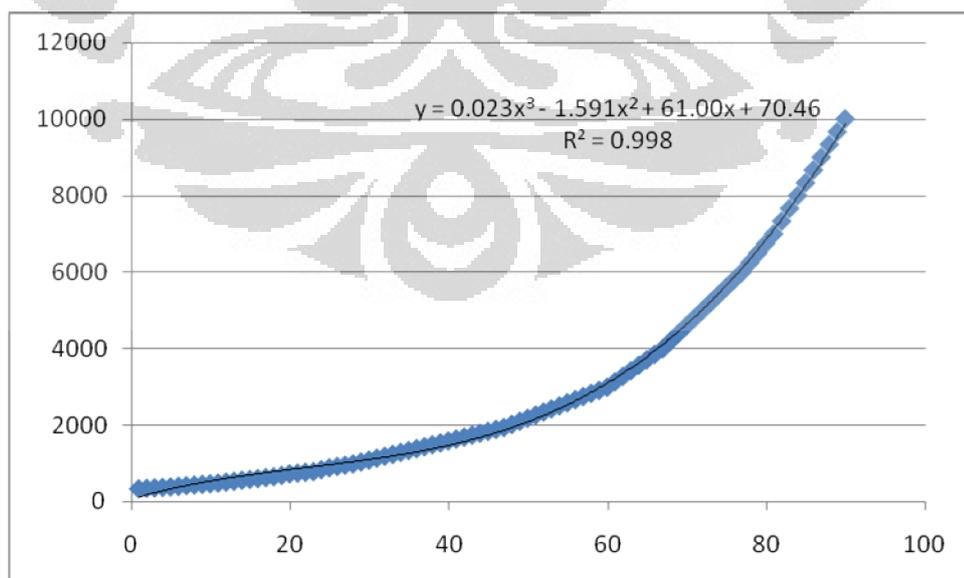
Universitas Indonesia

Pada Gambar 4.37 persamaannya berbentuk y fungsi x , sedangkan sebenarnya yang ingin kita cari adalah nilai x jadi persamaannya seharusnya x fungsi y . Oleh karena itu dicoba untuk membalik sumbu- x dan sumbu- y sehingga diperoleh grafik seperti pada gambar dibawah ini. *Fitting* yang dilakukan adalah dengan menggunakan pendekatan polinomial.

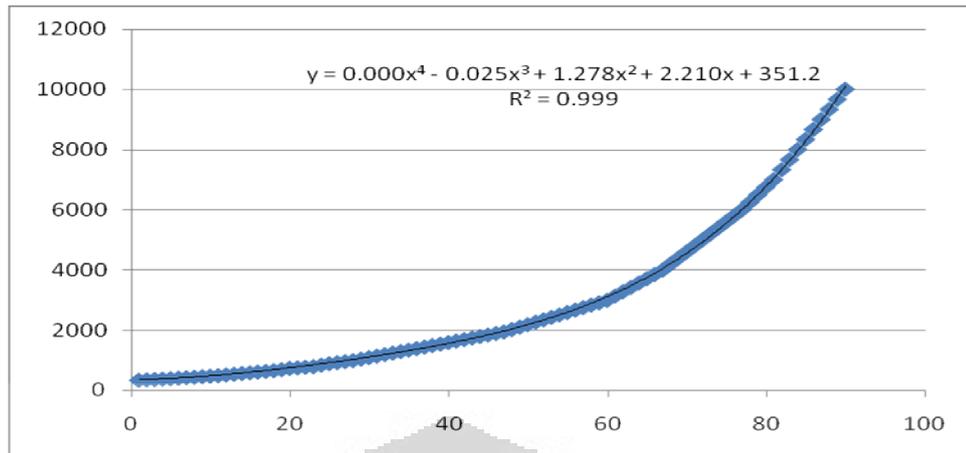


Gambar 4.38 Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan *Fitting* Orde 2

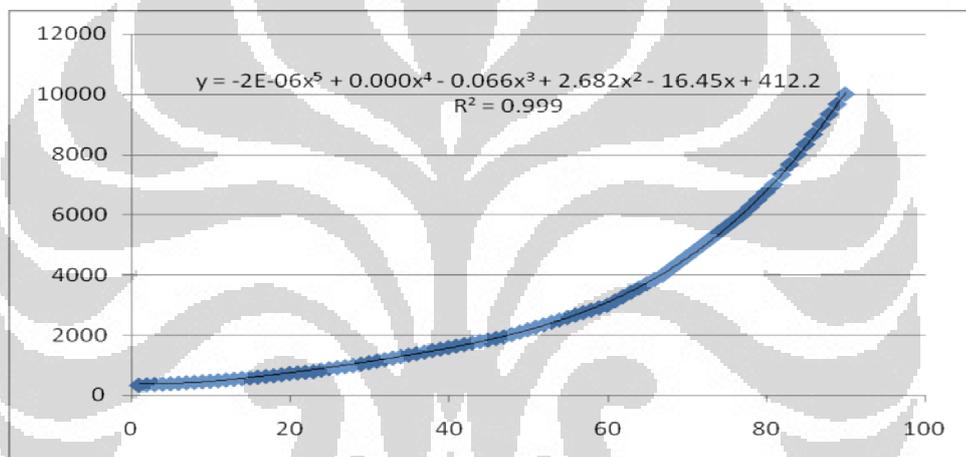
Dengan pendekatan polynomial ternyata fittingnya kurang bagus, maka dilakukan fitting dengan pendekatan polynomial orde 3.



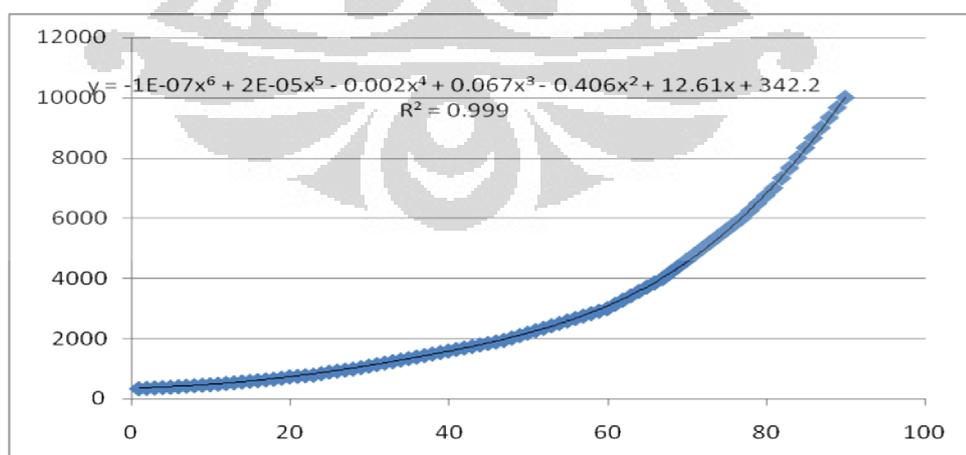
Gambar 4.39 Grafik ppm Fungsi Δ ggl pada Skala Linear dengan *Fitting* Orde 3



Gambar 4.40 Grafik ppm Fungsi Δ gl pada Skala Linear dengan *Fitting* Orde 4



Gambar 4.41 Grafik ppm Fungsi Δ gl pada Skala Linear dengan *Fitting* Orde 5



Gambar 4.42 Grafik ppm Fungsi Δ gl pada Skala Linear dengan *Fitting* Orde 6

Dari grafik pada gambar 4.38 sampai 4.42 persamaan yang diperoleh sudah benar yakni ppm fungsi tegangan akan tetapi *fitting* yang bagus baru diperoleh apabila orde persamaan polinomialnya tinggi yakni orde 6 atau sejelek-jeleknya orde 3. Namun semakin besar ordenya maka persamaan semakin rumit apabila dihitung dalam mikrokontroler. Karena membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu lebih mudah melakukan perhitungan dengan persamaan pada grafik 4.37 dengan cara merubahnya menjadi x fungsi y.

$$y = 26,83 \ln(x) - 156,6 \quad (4.8)$$

$$\ln(x) = (y+156,6)/26,83 \quad (4.9)$$

$$x = \exp((y+156,6)/26,83) \quad (4.10)$$

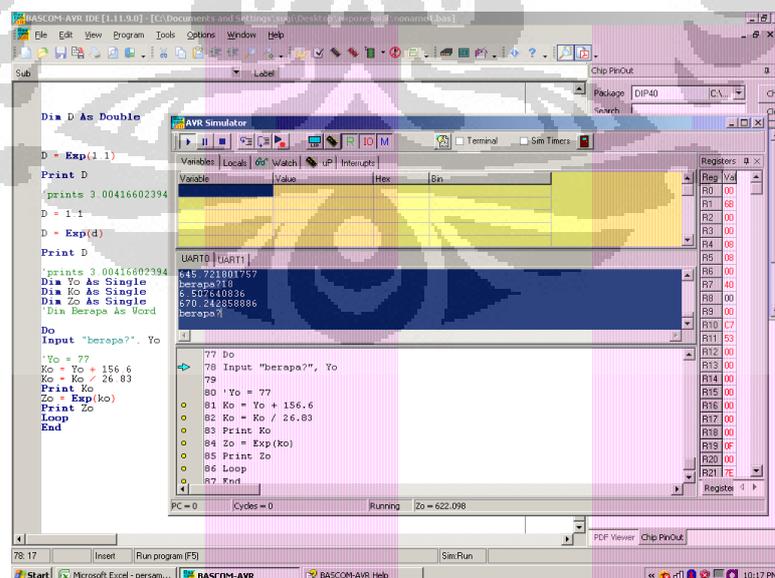
$$\text{ppm} = \exp((\Delta\text{ggl}+156,6)/26,83) \quad (4.11)$$

Untuk memperoleh seluruh nilai Δggl maka dilakukan proses simulasi terlebih dahulu pada bascom. Dengan potongan program sbb:

```

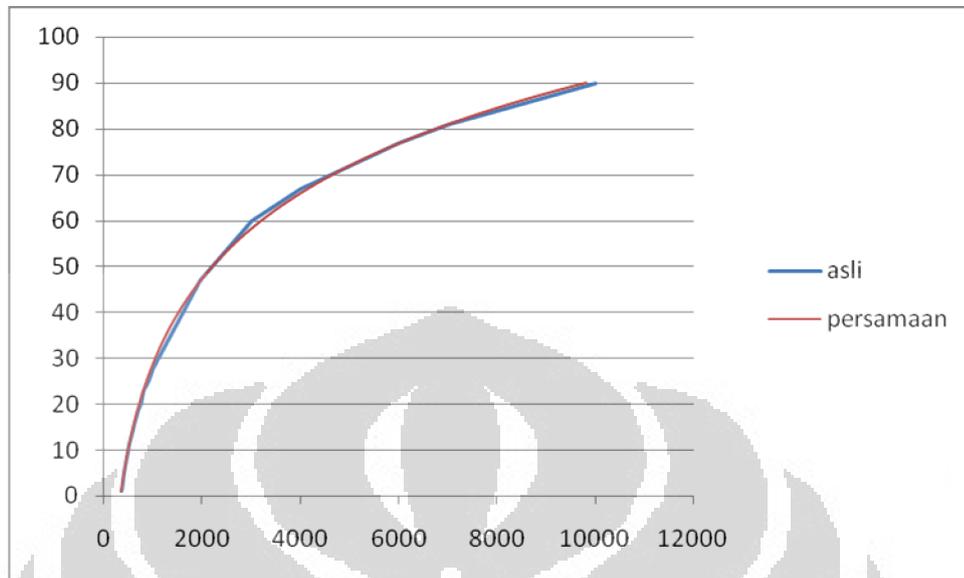
Do
Input "berapa?", Yo
Ko = Yo + 156.6
Ko = Ko / 26.83
Print Ko
Zo = Exp(ko)
Print Zo
Loop

```



Gambar 4.43 Simulasi dengan Menggunakan Fasilitas yang ada pada Bascom AVR

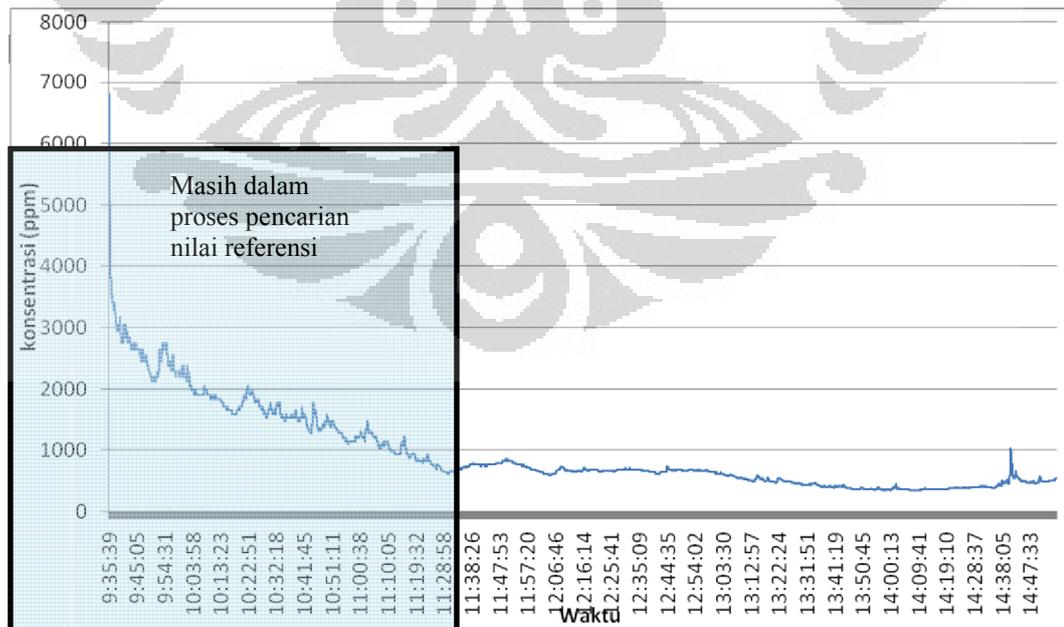
Dengan membandingkan hasil yang diperoleh pada simulasi dengan grafik pada *datasheet* diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



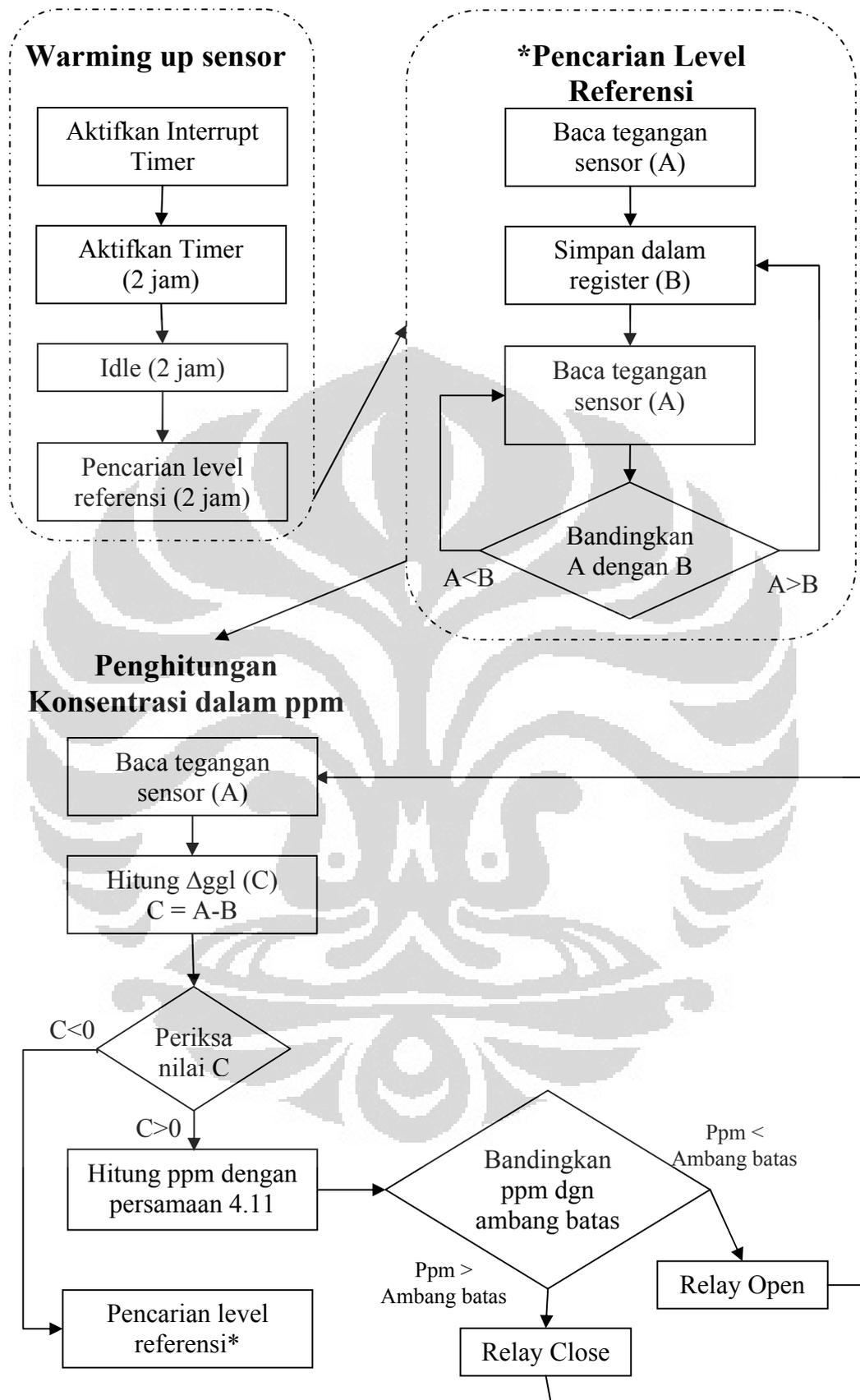
Gambar 4.44 Grafik Data Asli vs Persamaan

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa antara yang asli dan persamaan nilainya mendekati.

Dengan menggunakan persamaan 4.11 dan data yang ada pada gambar 4.23 maka grafik perhitungan nilai ppm dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.45 Grafik Perhitungan Nilai ppm Dari Data pada Gambar 4.23



Gambar 4.47 Detail Sub Program Ventilasi Otomatis

4.5 Eksperimen

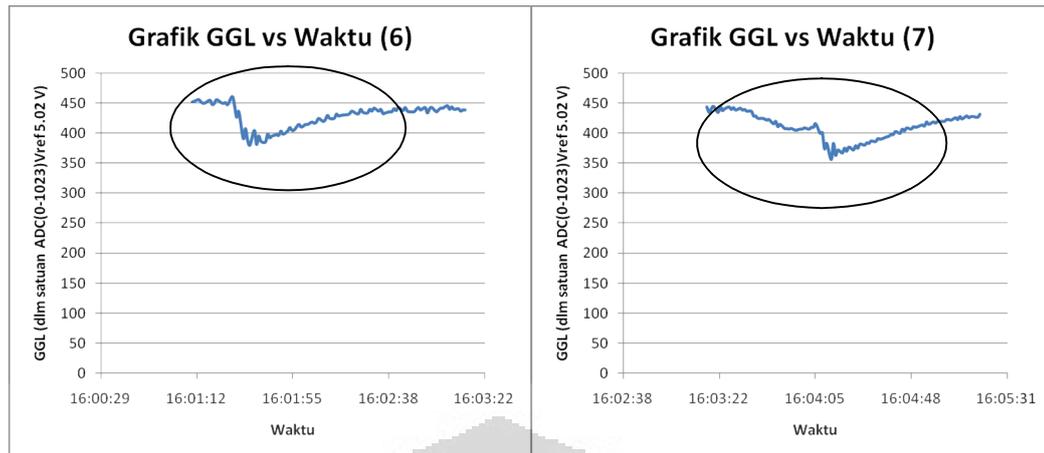
Setelah keseluruhan sistem dianggap sudah siap untuk digunakan maka selanjutnya dilakukan pengujian untuk mencobanya dengan kondisi real yang ada dilapangan. Seharusnya alat ini diuji pada ruangan yang memiliki konsentrasi yang dapat dijaga konstan dan dapat dikontrol konsentrasi karbon dioksida akan tetapi hingga akhir penelitian sulit untuk mencari instansi untuk dapat melakukan uji coba tersebut oleh karena itu dilakukan beberapa uji coba sederhana untuk menguji keseluruhan sistem.

4.5.1 Pengujian dengan Memberikan Udara Sisa Pernafasan Manusia

Pengujian pertama adalah pengujian dengan memaparkan sensor pada udara sisa pernafasan manusia. Kita ketahui bersama bahwa sisa pernafasan manusia adalah karbon dioksida dan uap air. Pada bab 2 dijelaskan bahwa konsentrasi karbon dioksida yang dikeluarkan pada pernafasan manusia sekitar 3% atau 30.000 ppm. Dengan data ini diharapkan bahwa nantinya sensor dapat mengukur dan akan membuatnya saturasi sehingga dapat mengaktifkan relay. Ilustrasi proses pengujian ini diperlihatkan oleh gambar 4.48.



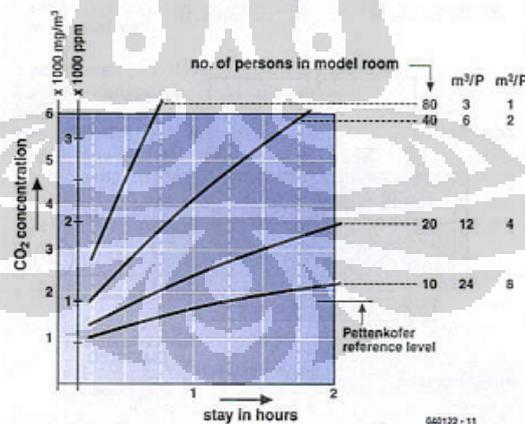
Gambar 4.48 Ilustrasi Pengujian dengan Memberikan Udara Sisa Pernafasan Manusia



Gambar 4.49 Grafik Pengujian dengan Memberikan Udara Sisa Pernafasan Manusia

Grafik di atas menunjukkan ketika sensor didekatkan dengan CO₂ dari sisa pernafasan manusia. Pada gambar di atas dapat dilihat penurunan tegangan yang mengindikasikan adanya CO₂ yang terdeteksi oleh sensor. Jika dilakukan perhitungan ppm maka besarnya adalah 10.000 ppm yang berarti saturasi dan ini sesuai dengan dugaan sebelumnya.

Pengujian juga dapat dilakukan dengan mengumpulkan orang dalam ruangan tertutup pada jangka waktu tertentu. Contoh hasil pengujian yang dilakukan Figaro dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

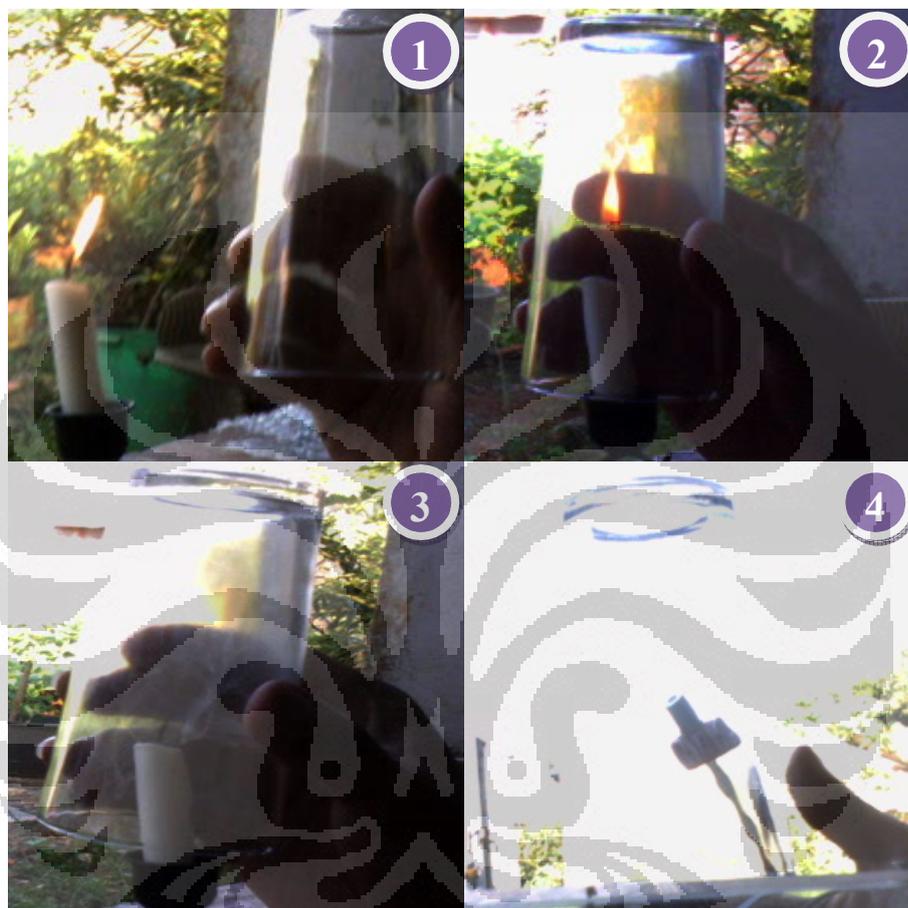


Gambar 4.50 Grafik Konsentrasi Sebagai Fungsi Waktu dengan Jumlah Orang yang Berada dalam Ruangan

Sumber: Voit 2004, 49

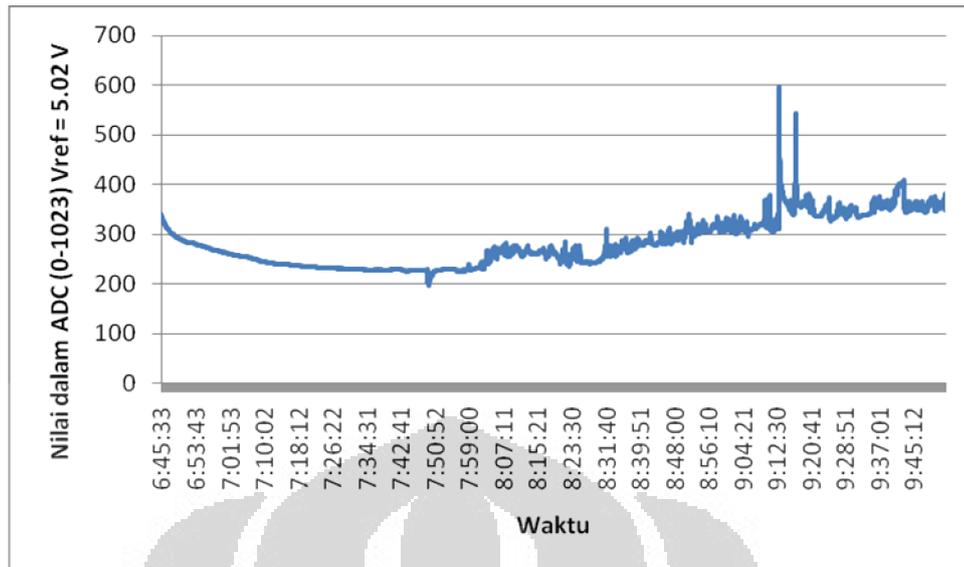
4.5.2 Proses Pengujian dengan Menggunakan Lilin dalam Gelas

Telah kita ketahui bahwa untuk melakukan proses pembakaran dibutuhkan oksigen dan sisa hasil pembakaran adalah karbon dioksida. Pada pengujian ini akan dicoba mengukur karbon dioksida yang muncul sebagai sisa pembakaran lilin. Proses pengujian dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.51 Proses Pengujian dengan Menggunakan Lilin dalam Gelas

Pertama-tama lilin dinyalakan (1). Kemudian lilin ditutup dengan gelas (2). Proses ini dilakukan hingga lilin padam akibat kehabisan oksigen (3). Setelah lilin padam sensor dimasukkan ke dalam gelas tadi, dan proses pengukuran dilakukan pada jangka waktu tertentu (4). Grafik dari pengujian diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.52 Grafik Pengujian dengan Menggunakan Lilin dalam Gelas

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada akhirnya sensor saturasi berarti kadar karbon dioksida dari sisa pembakaran lebih dari 10.000 ppm. Akan tetapi jika kita lihat dari grafik nilainya berfluktuasi itu karena ada aliran udara yang masuk dari luar.

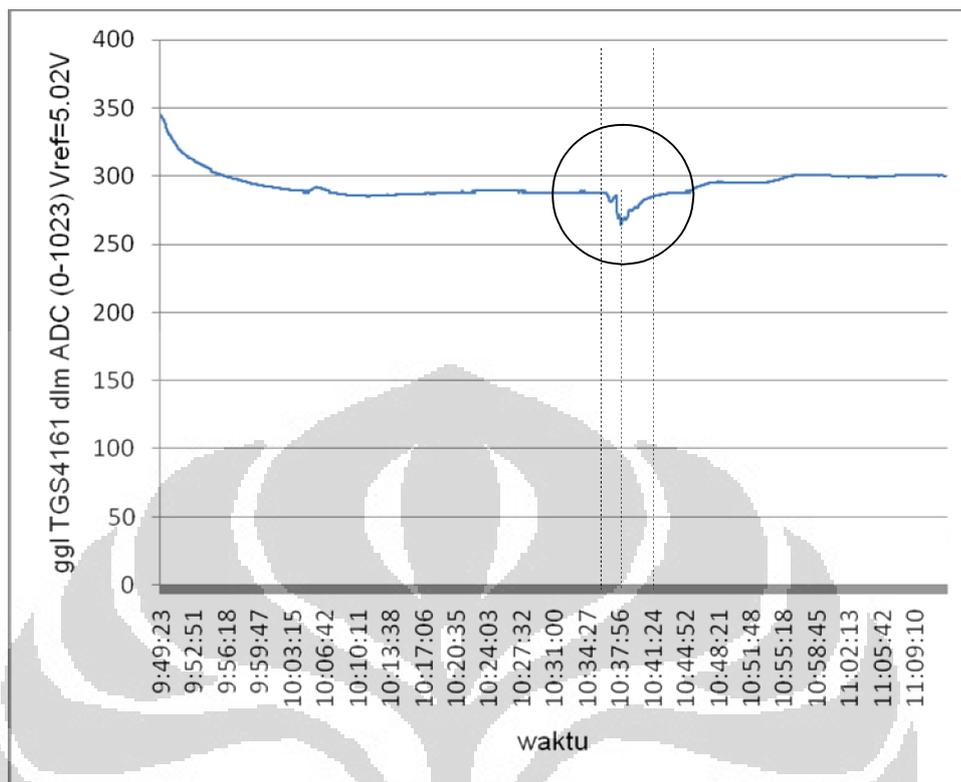
4.5.3. Pengujian dengan Minuman Bersoda

Seperti kita ketahui bahwa minuman bersoda atau minuman berkarbonasi merupakan minuman dengan karbon dioksida yang dilarutkan di dalamnya. Oleh karena itu penulis dalam penelitian ini ingin menguji respon sensor ketika dipaparkan pada karbon dioksida yang keluar ketika minuman bersoda dikocok. Gambar di bawah ini menunjukkan proses pengujian tersebut.



Gambar 4.53 Proses Pengujian dengan Minuman Bersoda

Grafik Pengujian Sistem dengan Menggunakan Minuman Bersoda



Gambar 4.54 Grafik Hasil Pengujian dengan Minuman Bersoda

Pada Gambar 4.54 dapat dilihat hasil dari pengujian sistem ketika mengukur konsentrasi karbon dioksida dari minuman bersoda. Pada bagian yang dilingkari merupakan respon sensor ketika sensor terpapar karbon dioksida dari minuman bersoda. Berdasarkan hasil perhitungan besarnya karbon dioksida yang terukur sekitar 700 ppm. Dengan menggunakan garis bantu dapat dilihat waktu yang dibutuhkan untuk sensor membaca konsentrasi karbon dioksida sekitar 2 menit dan waktu yang dibutuhkan untuk sensor kembali ke kondisi semula sejak sumber karbon dioksida dihilangkan sekitar 4 menit.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Sistem yang dibuat dapat memonitor konsentrasi relatif karbon dioksida dalam ruangan.
2. Sistem ini tidak dapat mengukur konsentrasi absolut karbon dioksida karena metode yang digunakan adalah membandingkan hasil pengukuran dengan konsentrasi karbon dioksida pada udara bersih (sekitar 400 ppm).
3. Jangkauan pengukuran sistem yang dibuat adalah 400 – 10000 ppm.
4. Sensor ini memiliki waktu respon sekitar 2 menit ketika diberikan CO₂.
5. Sensor mengalami *drift* ketika suhu udara disekitarnya berubah.
6. Sistem ini dapat digunakan untuk mengatur ventilasi udara.
7. Sistem pencatat data/*data logger* berfungsi dengan baik. Data-data yang tersimpan dalam microSD dapat dibaca dengan menggunakan *card reader*.

5.2 SARAN

1. Menguji sistem ini pada ruangan dengan konsentrasi karbon dioksida yang sudah diketahui.
2. Membuat *software* yang dapat membaca data pada microSD dan dapat langsung mengolah data tersebut menjadi grafik.
3. Membuat rangkaian yang lebih kompak.
4. Membuat sistem yang dapat mengkompensasi faktor-faktor luar yang dapat mempengaruhi kinerja sensor (terutama pengaruh suhu).
5. Mengoptimalkan penggunaan daya sehingga ketika sistem dioperasikan dengan menggunakan baterai dapat bertahan lama.

DAFTAR REFERENSI

- Atmel. (2008). 8-Bit AVR Microcontroller. *Atmel*.
- Catti, Michele. (n.d.) Disorder and Mobility of Lithium Ions in NASICON Phosphates for Energy Applications. *Department of Material Science University of Milano Bicocca Italy*.
- CO₂ measurement, stuffy air alert. (2008, January). *Elektor*, 16-22
- Davidson, Clive. (2003, February 7). Marine Notice: Carbon Dioxide: Health Hazard. *Australian Maritime Safety Authority*.
- Dong-mei, Zhu, et al. (2007). Phase formation and electrical characteristic of NASICON ceramics. *Trans. Non Ferrous Met. Soc. China* 17, s1156-s1159
- Dorneanu, Sorin Aurel, et al. (n.d.). Comparison between Potentiometric and Amperometric Selectivity of a NASICON Based Na⁺ Ion Selective Electrode.
- Figaro. (2004, May). Technical information for TGS4161. *Figaro Engineering Inc.*
- Glatte, Jr H. A., Motsay, G. J., Welch, B. E. (1967). Carbon Dioxide Tolerance Studies. *Brooks AFB, TX School of Aerospace Medicine Technical Report SAM-TR-67-77*, <http://archive.rubicon-foundation.org/6045>. Retrieved on 2 May 2008.
- Innovative Electronics. (2008). EMS (Embedded Module Series) SD/MMC/FRAM.
- Joly, L., Parvitte, B., Zeninari, V., & Durry, G. (2007). Development of a compact CO₂ sensor open to the atmosphere and based on near-infrared laser technology at 2.68 μm. *Appl. Phys. B* 86, 743–748
- Kieschnick, K., Steudel, E., & Weppner, W. (1997). Intelligent Sensor System for CO₂ Partial Pressure Measurements. *Ionics* 3, 442-447
- Lambertsen, C. J. (1971). "Carbon Dioxide Tolerance and Toxicity". *Environmental Biomedical Stress Data Center, Institute for Environmental Medicine, University of Pennsylvania Medical Center (Philadelphia, PA) IFEM Report No. 2-71*, <http://archive.rubicon-foundation.org/3861>. Retrieved on 2 May 2008.
- Lee, Jong-Heun, Lee, Ji-Sun, Hong, Seong-Hyeon. (2003). Solid-state amperometric CO₂ sensor using a lithium ion conductor. *Science Direct Sensors and Actuators B* 89, 311-314

Lee, Jong-Heun, Lee, Ji-Sun, Hong, Seong-Hyeon, (2003). NASICON-based amperometric CO₂ sensor using Na₂CO₃-BaCO₃ auxiliary phase. *Science Direct Sensors and Actuators B* 96, 663-668

Lee, Jong-Heun, Lee, Ji-Sun, Hong, Seong-Hyeon. (2004). Solid-state amperometric CO₂ sensor using a sodium ion conductor”, *Journal of the European Ceramic Society* 24, 1431–1434

Malvino, Albert Paul. (2004). Electronic Principles. *Macmillan/McGraw-Hill*.

Martini, M. (1997). "CO₂ emissions in volcanic areas: case histories and hazards". in Raschi, A.; Miglietta, F.; Tognetti, R.; van Gardingen, P.R. (Eds.). *Plant responses to elevated CO₂: Evidence from natural springs*. Cambridge: Cambridge University Press. pp.69–86. ISBN 0-521-58203-2.

Miyachi, Y., et al. (n.d.). Investigation of counter electrode material for NASICON based potentiometric CO₂ sensor.

Occupational Safety and Health Administration. Chemical Sampling Information: Carbon Dioxide. Retrieved 5 June 2008 from:
http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_225400.html

Quan, B., He, Yu., Wang, B., Zhang, C., & Liu, F. (2007). Investigation of Miniature CO₂ Gas Sensor Based on NASICON. *Russian Journal of Electrochemistry Vol. 43, No. 11*, 1289–1293

Redmond, WA. (2006). Carbon Dioxide. *Microsoft® Student 2007 [DVD]*

Sahner, Kathy, et al., ed. (2008). CO₂ Selective Potentiometric Sensor in Thick-film Technology. *Sensors* 8, 4774-4785.

Texas Instruments. (1996, August). Datasheet TLC271, TLC271A, TLC271B LinCMOS Programmable Low-Power Operational Amplifiers

Voit, Christian. (2004, October). Air quality sensor, new CO₂ sensors for air quality monitoring. *Elektor*, 46-49

Ward, B.J., Liu, C.C., & Hunter, G.W. (2003). Novel processing of NASICON and sodium carbonate/barium carbonate thin and thick films for a CO₂ microsensor. *Journal of Materials Science* 38, 4289 – 4292

http://id.wikipedia.org/wiki/Karbon_dioksida (diakses pada Mei 2009)

<http://library.thinkquest.org/C006669/data/Chem/> (diakses pada Mei 2009)

<http://www.volker-quaschning.de> (diakses pada Januari 2009)