

repository.ub.ac.id

PENGATURAN DAN PENGOLAHAN DATAPADA *PLAN LIVE CELL CHAMBER*

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**NUR AWALLUDIN ZUHRI
NIM. 0810633068-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

PENGATURAN DAN PENGOLAHAN DATAPADA *PLAN LIVE CELL CHAMBER*

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

NUR AWALLUDIN ZUHRI

NIM. 0810633068-63

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Moch. Rif'an ST.,MT.

NIP.19710301 200012 1 001

Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.,Sc.

NIP.19590304 198903 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGATURAN DAN PENGOLAHAN DATA PADA *PLAN LIVE CELL CHAMBER*

Disusun oleh:

NUR AWALLUDIN ZUHRI

NIM. 0810633068-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 01 Agustus 2013

DOSEN PENGUJI

Nurussa'adah, Ir.,MT.

NIP. 19680706 199203 2 001

M. Julius St. Ir. MS.

NIP. 19590304 198903 1 001

Akhmad Zainuri.,ST.,MT

NIP.19840120 201212 1 003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaturan dan Pengolahan Data Pada *PlanLive Cell Chamber*” dengan lancar. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak akan mungkin bisa tercapai tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Bapak tercinta Alm. H. Ahwan, yang mendidik dengan penuh kesabaran, serta memberikan dukungan, do’a, serta nasihat-nasihat sampai akhir sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
- Ibu tercinta Hj. Nunuk Muyassaroh, yang telah memberikan kasih sayang, serta do’a hingga terselesaikannya skripsi ini.
- Adik-adikku tersayang Lukman Habibi, Masbuqin Faqih, Rahman Hadi Wijaya, Baharuddin Putra Halima, atas do’a yang diberikan.
- Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Azis Muslim, ST., MT. sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Nurussa’adah Ir., MT. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Moch. Rif’an, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, ide, saran dan kritik yang telah diberikan selama pengerjaan skripsi
- Bapak Ponco Siwindarto, Ir., M.Eng., Sc. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, ide, saran yang telah diberikan selama pengerjaan skripsi.
- Seluruh Civitas Akademika TEUB atas bimbingannya selama perkuliahan, serta staff recording (mbak Henny, Mas Jun, Mbak Frida dan Pak Heru)

- Rekan Paket B atas bantuan ide, saran serta dukungan dan do'anya.
- Mantan pengurus inti HME 2011/2012 yang sudah berjuang keras menemaniku sebagai Sekretaris HME 2011/2012, Jody, Rissa A, Izzat, Surya, Dika, Anshar, Mudito, Mahendra, Theo, Hihid, Pramuda, Felix, Jumadil, Suhendra, semoga sukses semua teman-temanku setelah mendapatkan gelar ST, ammiinn.
- Teman-teman seperjuangan skripsi Dimox, Renaldi, Pribadhi, Wowo, Surya, Pepy, Angga, Taufik, Royun, Bagus Ilyas, Arnas, Anas, Cholik, Mas Eryc, Mudito, Umar, Ade, Tunggul, Jumadil, Fikri, Zulhaj terima kasih atas semua bantuan yang diberikan.
- Team Futsal Pasti Pas (Angga, Rudi, Memi, Ade, Akhyar, Willy, Gosi, Rizal, Wildan, Feby, Ganda, Fido, aldi, Devis) dan team Dota (Bagus, Zulhaj, Jumadil, Fikri, Liky, Arsyad, Sammy, Pepy, Fajar, Pramuda) terima kasih sudah mau main bareng sehingga dapat menghilangkan penat.
- Teman-teman Concordes 2008 atas kerjasama dan canda tawa selama kuliah.
- Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin untuk dicantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas segala bentuk bantuan dan dukungannya.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, Juli 2013

Penulis

ABSTRAK

Nur Awalludin Zuhri, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, Pengaturan dan Pengolahan Data pada *Plan Live Cell Chamber*, Dosen Pembimbing: Moch. Rif'an, ST., MT. dan Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng., Sc.

Sel merupakan kumpulan materi paling sederhana dan unit penyusun semua makhluk hidup. Penelitian sel sekarang masih menggunakan metode uji tabung. Metode ini mempunyai kelemahan yaitu penggantian cairan pada cawan petri seringkali terkontaminasi fungi dan cuci ulang inkubator meninggalkan *formaldehid* yang sulit dihilangkan. Sehingga perlu dirancang sebuah media dimana sel bisa tumbuh dengan parameter-parameter suhu, pH, kelembaban, CO₂ yang dapat terdeteksi langsung dan dikontrol tanpa harus mengganti cairan cawan petri secara manual.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat modul mikrokontroler yang bisa mengolah data hasil sensor CO₂, suhu, kelembaban, pH serta keypad dengan menggunakan program yang mampu mengakses dan mengontrol data sensor CO₂, suhu, kelembaban, dan pH pada *Plan Live Cell Chamber*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data yang dikirim oleh kontroler dapat diterima dengan baik oleh aktuator. Data yang dikirim pada mikrokontroler aktuator suhu, CO₂, dan kelembaban berupa karakter yang diikuti tanda plus(+) atau minus(-) untuk menentukan aktuator *ON* atau *OFF*. Sedangkan pada aktuator pH, data dikirim dalam bentuk selisih setpoint dengan data terbaca untuk menentukan besarnya PWM yang dibutuhkan.

Kata Kunci: Data yang dikirim, Keypad, Sel, Setpoint.

DAFTAR ISI

PENGATURAN DAN PENGOLAHAN DATA PADA <i>PLAN LIVE CELL CHAMBER</i> ..	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sel.....	5
2.2 Sensor Kelembaban SHT11	5
2.3 Modul Sensor CO ₂ CDM4160	7
2.4 Sensor PH.....	10
2.5 Mikrokontroler ATmega128.....	13
2.5.1 Struktur Operasi Port pada ATmega128	16
2.5.2 Komunikasi Data Serial	21
2.6 Ultrasonic Atomizer	23
2.7 Keypad 4x4	24
2.8 Modul <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	25
2.9 Syringe Pump	27
2.10 Solenoid Valve	27
2.11 Optocoupler 4N33	29
2.12 Relay Omron MY2N-J	29
2.13 Peltier	30
2.14 Sensor Suhu DS18B20.....	31
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Metode Penelitian.....	35
3.2 Penentuan Spesifikasi Alat.....	35
3.3 Studi Literatur	35

3.4	Perancangan Alat	36
3.5	Prinsip Kerja Sistem.....	36
3.6	Pengujian Sistem.....	37
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....		38
4.1	Perancangan Diagram Blok <i>Plan Live Cell Chamber</i>	38
4.2	Perancangan Sistem Elektrik <i>Plan Live Cell Chamber</i>	39
4.2.1	Perancangan Mikrokontroler ATmega128.....	39
4.3	Perancangan Perangkat Lunak <i>Plan Live Cell Chamber</i>	43
4.3.1	Perancangan Perangkat Lunak Sistem Keseluruhan.....	43
4.3.2	Perancangan Perangkat Lunak Sensor Kelembaban SHT11	44
4.3.3	Perancangan Perangkat Lunak Sensor Suhu DS18B20	45
4.3.4	Perancangan Perangkat Lunak Sensor pH	46
4.3.5	Perancangan Perangkat Lunak CO ₂ CDM4160.....	46
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		50
5.1	Pengujian Catu Daya.....	50
5.1.1	Pengujian Catu Daya 5 V.....	50
5.2	Pengujian dan Kalibrasi Sensor	52
5.3	Pengujian Mikrokontroler ATmega128.....	56
5.4	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	57
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
6.1	Kesimpulan	60
6.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN 1.....		63
LAMPIRAN 2.....		65
LAMPIRAN 3.....		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sensor Suhu dan Kelembaban SHT11	5
Gambar 2.2 Blok diagram pada chip SHT11.....	6
Gambar 2.3 Rangkaian aplikasi SHT 11	7
Gambar 2.4 Sensor TGS4160	8
Gambar 2.5 Modul sensor CO ₂ CDM4160	8
Gambar 2.6 Grafik Karakteristik Sensor CO ₂	10
Gambar 2.7 Grafik Karakteristik CO ₂ Terhadap Kelembaban	10
Gambar 2.8 Ilustrasi penampang melintang dari pH Probe.....	11
Gambar 2.9 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega128	14
Gambar 2.10 Format Pengiriman Data Serial.....	23
Gambar 2.11 Ultrasonic atomizer	24
Gambar 2.12 Konfigurasi Pin <i>Keypad</i> Martik 4x4.....	25
Gambar 2.13 Konfigurasi Pin LCD Karakter 4X20	25
Gambar 2.14 Syringe Pump.....	27
Gambar 2.15 Struktur fungsi solenoid valve	28
Gambar 2.16 Skematik optocoupler 4N33	29
Gambar 2.17 Pin-Pin Relay DPDT.....	30
Gambar 2.18 Struktur Peltier	31
Gambar 2.19 Bentuk Fisik DS18B20	32
Gambar 2.20 Blok Diagram DS18B20	32
Gambar 2.21 <i>Supply</i> dengan Mode Parasit Power.....	33
Gambar 2.22 <i>Supply</i> dengan Mode Konvensional.....	33
Gambar 2.23 64-bit ROM <i>Code</i> DS18B20.....	33
Gambar 3.1 Diagram Blok Keseluruhan Sistem.....	36
Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem.....	38
Gambar 4.2 Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega128	40
Gambar 4.3 Skema Rangkaian <i>Reset</i> Mikrokontroler	41
Gambar 4.4 Diagram Alir Keseluruhan Sistem	44
Gambar 4.5 Diagram Alir Pengolahan Data Kelembaban Sensor SHT11	45
Gambar 4.6 Diagram Alir Pengolahan Sensor Suhu DS18B20.....	45
Gambar 4.7 Diagram Alir Pengolahan Data Sensor pH	46

Gambar 4.8 Diagram alir pengolahan data CO ₂ CDM4160	47
Gambar 5.1 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Catu Daya 5V.....	50
Gambar 5.2 Tegangan Keluaran Rangkaian Catu Daya 5V	51
Gambar 5.3 Tegangan Keluaran Rangkaian Catu Daya 5V	51
Gambar 5.4 Grafik Penyimpangan Sensor Kelembaban SHT11.....	53
Gambar 5.5 Grafik Penyimpangan Sensor pH.....	53
Gambar 5.6 Grafik Data Sensor CO ₂ CDM4160	54
Gambar 5.7 Grafik Penyimpangan Sensor CO ₂ CDM4160	55
Gambar 5.8 Grafik Penyimpangan Sensor Suhu DS18B20	56
Gambar 5.9 Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler	56
Gambar 5.10 Tampilan Pengujian Mikrokontroler.....	57
Gambar 5.11 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem.....	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi SHT11	6
Tabel 2.2 Pin Sensor Suhu dan Kelembaban SHT 11	7
Tabel 2.3 Spesifikasi Modul CDM4160	8
Tabel 2.4 Karakteristik DC Mikrokontroler ATmega128	14
Tabel 2.5 Fungsi Khusus Port A	16
Tabel 2.6 Fungsi Khusus Port B	17
Tabel 2.7 Fungsi Khusus Port C	18
Tabel 2.8 Fungsi Khusus Port D	18
Tabel 2.9 Fungsi Khusus Port E	19
Tabel 2.10 Fungsi Khusus Port F	20
Tabel 2.11 Fungsi Khusus Port G	21
Tabel 2.12 Rumus Penghitungan <i>Baudrate</i>	22
Tabel 2.13 Fungsi Masing-masing Pin LCD Karakter 20x4	25
Tabel 2.14 Pin-Pin Relay DPDT	30
Tabel 2.15 Pin-pin Sensor Suhu DS18B20	32
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Catu Daya 5V	51
Tabel 5.2 Hasil Pengujian dan Kalibrasi sensor SHT11 dengan Higrometer	52
Tabel 5.3 Hasil Pengujian dan Kalibrasi Sensor pH dengan pH Meter Jenway3310	53
Tabel 5.4 Pengujian Sensor CO ₂ CDM4160	54
Tabel 5.5 Hasil Pengujian dan Kalibrasi Sensor CO ₂ dengan CO ₂ Innova	54
Tabel 5.6 Hasil Pengujian dan Kalibrasi DS18B20 dengan Termometer Raksa	55
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kontrol Suhu dengan <i>Setpoint</i> 37°C	58
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kontrol Kelembaban dengan <i>Setpoint</i> 95%	58
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kontrol CO ₂ dengan <i>Setpoint</i> 3,9%	58
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kontrol pH dengan <i>Setpoint</i> 7,5	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Live Cell Chamber merupakan sebuah piranti yang digunakan sebagai tempat untuk perkembangbiakan bakteri atau sel di luar habitat aslinya, dimana sel atau bakteri tersebut telah diberikan suatu perlakuan yang disesuaikan seperti keadaan habitat aslinya. Perlakuan yang dimaksud terdiri atas empat parameter, yakni parameter suhu, parameter kelembaban, parameter pH, dan parameter CO₂. Dalam piranti ini dititikberatkan pada pengamatan dan penentuan empat parameter tersebut sesuai dengan kaidah medis yang berlaku. Dalam hal fungsi, *Live Cell Chamber* ini mampu mengatasi masalah dalam pengembangbiakan sel karena dengan adanya alat ini sel tidak harus berada di habitat aslinya, jadi pengembangbiakannya dapat dilakukan dimanapun, akan tetapi *Live Cell Chamber* yang saat ini sudah ada masih beroperasi secara manual sehingga pengaturan empat parameter tersebut masih belum akurat.

Untuk mengatasi kekurangan tersebut, kami membuat *Plan Live Cell Chamber* yang beroperasi secara otomatis, sehingga tingkat akurasi dari perlakuan sel atau bakteri bisa lebih tinggi dan sel dimungkinkan dapat tumbuh sesuai dengan habitat aslinya. Kelebihan dari *plan* ini selain tingkat akurasi yang lebih tinggi dibanding dengan perlakuan secara manual adalah *plan* ini lebih ekonomis jika dibandingkan dengan *Live Cell Chamber* yang dilakukan secara manual. *Plan Live Cell Chamber* ini menggunakan sensor SHT11 yang digunakan untuk mengukur kelembaban, selain itu juga menggunakan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu, *plan* ini juga menggunakan sensor untuk mengukur kadar CO₂, sensor terakhir yang digunakan adalah sensor pH.

Pengembangbiakan sel yang sesuai dengan habitat aslinya merupakan tujuan utama dari pengerjaan *plan Live Cell Chamber*, dengan adanya *plan* ini diharapkan mampu membantu pengembangan teknologi di bidang elektronika medis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana membuat modul mikrokontroler yang bisa mengolah data hasil keluaran sensor suhu DS18B20, sensor kelembaban SHT 11, sensor pH, dan modul sensor CO₂ CDM4160.
- 2) Bagaimana membuat modul mikrokontroler yang bisa mengontrol data hasil keluaran sensor suhu DS18B20, sensor kelembaban SHT 11, sensor pH, dan modul sensor CO₂CDM4160 agar bisa menjadi data yang sesuai dengan spesifikasi sistem *plan "Live Cell Chamber"*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah:

- 1) Penelitian ini hanya membahas pengolahan dan pengaturan data sensor tidak termasuk karakteristik sensor dan aktuator.
- 2) Penelitian ini tidak membahas tentang perancangan rangkaian pengondisi sinyal.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat modul mikrokontoler yang bisa mengolah data hasil sensor CO₂, suhu, kelembaban, pH serta keypad dengan menggunakan program yang mampu mengakses dan mengontrol data sensor CO₂, suhu, kelembaban, dan pH pada *Plan Live Cell Chamber*.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini terdiri atas enam bagian dengan sistematika sebagai berikut:

1.1 Bab I: Pendahuluan

Berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat serta sistematika penulisan.

1.2 Bab II: Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan sistem.

1.3 Bab III: Metodologi Penelitian

Membahas tentang metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini.

1.4 Bab IV: Perancangan dan Pembuatan Alat

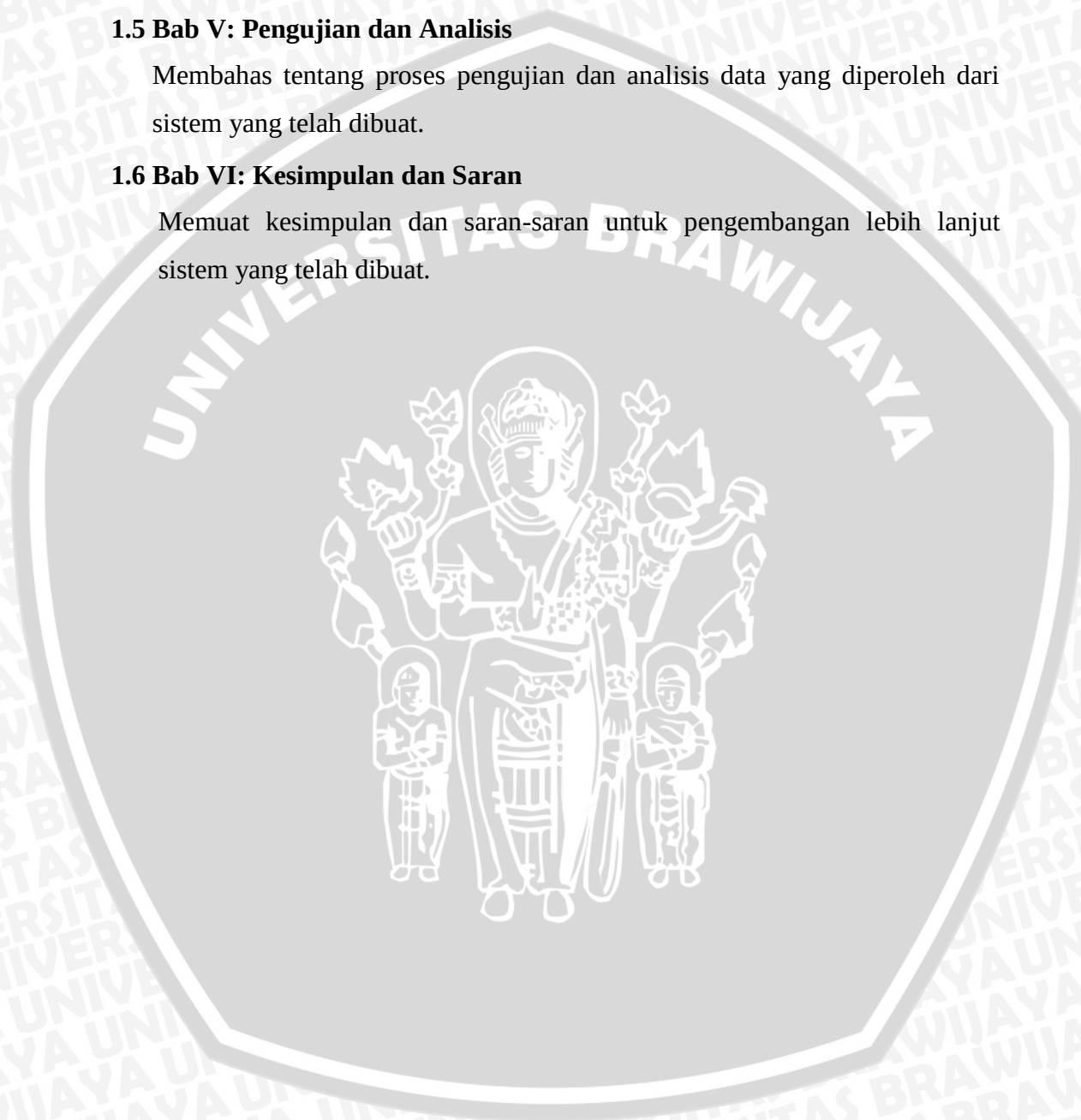
Berisi perancangan dan perealisasiian sistem yang meliputi perencanaan diagram blok, prinsip kerja dan realisasi sistem.

1.5 Bab V: Pengujian dan Analisis

Membahas tentang proses pengujian dan analisis data yang diperoleh dari sistem yang telah dibuat.

1.6 Bab VI: Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut sistem yang telah dibuat.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Saat ini banyak sekali penelitian dalam bidang elektronika, khususnya penelitian di bidang elektronika medis. Penelitian-penelitian tersebut memunculkan banyak alat-alat elektronika yang difungsikan untuk membantu kinerja dokter dalam melakukan peningkatan kesehatan. Penelitian tersebut antara lain adalah monitoring kesehatan jantung melalui handphone, pengukuran tinggi lutut untuk mengetahui kadar lemak tubuh, dan juga penelitian terhadap *Live Cell Chamber*.

Live Cell Chamber merupakan suatu alat medis yang digunakan untuk mengamati pertumbuhan bakteri atau sel yang sebelumnya telah diberikan perlakuan khusus. Adanya perlakuan tersebut diharapkan sel dapat tumbuh sesuai dengan perlakuan yang diberikan sebelumnya. Dengan adanya *Live Cell Chamber* ini diharapkan kita bisa mengamati pertumbuhan sel atau bakteri, sehingga kita mengetahui keadaan sel di luar habitat aslinya. Sel yang diamati pada *Plan Live Cell Chamber* bisa tumbuh sesuai dengan habitat aslinya jika sel tersebut sudah memenuhi empat parameter. Parameter tersebut antara lain adalah parameter suhu, kelembaban, parameter pH, dan parameter CO₂.

Parameter-parameter tersebut memiliki fungsi tersendiri. Parameter dalam suhu dan kelembaban digunakan untuk memberi perlakuan suhu dan kelembaban untuk sel yang diamati. Sensor suhu menggunakan sensor DS18B20, kelembaban menggunakan sensor SHT11. Parameter selanjutnya adalah parameter pH, parameter ini menggunakan pH probe dimana fungsinya adalah untuk mengetahui pH yang diberikan pada sel yang diamati. Parameter terakhir adalah parameter CO₂, parameter ini menggunakan sensor CO₂ dengan tipe CDM4160.

Untuk mengolah data dari masing-masing sensor tersebut dibutuhkan suatu sistem minimum. Sistem minimum tersebut adalah modul mikrokontroler ATmega128.

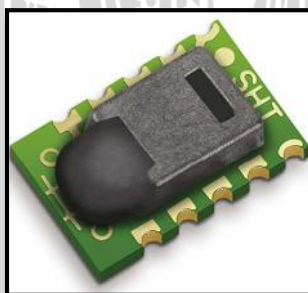
2.1 Sel

Dalam biologi, sel adalah kumpulan materi paling sederhana yang dapat hidup dan merupakan unit penyusun semua makhluk hidup. Sel mampu melakukan semua aktifitas kehidupan dan sebagian besar reaksi kimia untuk mempertahankan kehidupan berlangsung di dalam sel. Kebanyakan makhluk hidup tersusun atas sel tunggal, atau disebut organisme uniseluler, misalnya bakteri dan amoeba. Makhluk hidup lainnya, termasuk tumbuhan, hewan, dan manusia, merupakan organisme *multiseluler* yang terdiri dari banyak tipe sel terspesialisasi dengan fungsinya masing-masing. Tubuh manusia, misalnya, tersusun atas lebih dari 10^{13} sel. Namun demikian, seluruh tubuh semua organisme berasal dari hasil pembelahan satu sel. Contohnya, tubuh bakteri berasal dari pembelahan sel bakteri induknya, sementara tubuh tikus berasal dari pembelahan sel telur induknya yang sudah dibuahi.

Sel-sel pada organisme *multiseluler* tidak akan bertahan lama jika masing-masing berdiri sendiri. Sel yang sama dikelompokkan menjadi jaringan, yang membangun organ dan kemudian sistem organ yang membentuk tubuh organisme tersebut. Contohnya, sel otot jantung membentuk jaringan otot jantung pada organ jantung yang merupakan bagian dari sistem organ peredaran darah pada tubuh manusia.

2.2 Sensor Kelembaban SHT11

Sensor SHT11 adalah sensor pengukur suhu dan kelembaban. Wujud sensor tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.1

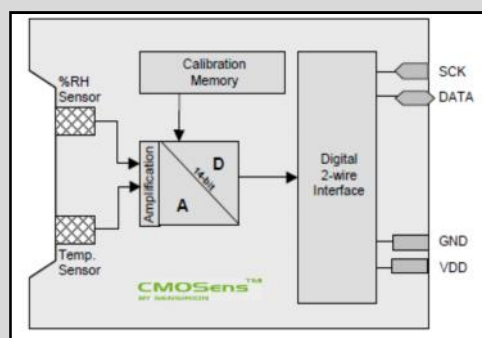


Gambar 2.1 Sensor Suhu dan Kelembaban SHT11

Sumber: Data sheet SHT11

SHT 11 adalah sebuah *single chip* sensor suhu dan kelembaban relatif dengan multi modul sensor yang *outputnya* telah dikalibrasikan secara digital. Dibagian dalamnya terdapat kapasitif polimer sebagai elemen untuk sensor kelembaban relatif dan sebuah pita regangan yang digunakan sebagai sensor temperatur. *Output* kedua

sensor digabungkan dan dihubungkan pada ADC 14 bit dan sebuah *interface* serial pada satu *chip* yang sama. Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran yang baik dengan waktu respon yang cepat. SHT 11 dikalibrasi pada ruangan dengan kelembaban yang teliti menggunakan hygrometer sebagai referensinya. Koefisien kalibrasinya telah diprogramkan kedalam OTP memory. Koefisien tersebut akan digunakan untuk mengkalibrasi keluaran dari sensor selama proses pengukuran. 2- wire alat penghubung serial dan regulasi tegangan internal membuat lebih mudah dalam pengintegrasian sistem. Ukurannya yang kecil dan konsumsi daya yang rendah membuat sensor ini adalah pilihan yang tepat, bahkan untuk aplikasi yang paling menuntut. Didalam piranti SHT 11 terdapat suatu *surface-mountable* LLC (*LeadlessChip Carrier*) yang berfungsi sebagai suatu *pluggable* 4-pin *single-in-line* untuk jalur data dan clock, blok diagram chip SHT 11 ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Blok diagram pada chip SHT11

Sumber : <http://www.sensirion.com>

Spesifikasi sensor suhu dan kelembaban SHT11 ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi SHT11

Karakteristik	SHT 11
Range Suhu	-40 ⁰ C (-40 ⁰ F) hingga +123,8 ⁰ C (+254,9 ⁰ F)
Akurasi Suhu	+/- 0,4 ⁰ pada 25 ⁰ C
Range Kelembaban	0 hingga 100% RH
Akurasi RH absolut	+/- 3,5% RH
Faktor Bentuk	8 pin DIP – 0,6”

Konsumsi Daya Rendah	Tipikal 30 μ W
Tegangan Supply	+5 VDC

Sumber : *Datasheet SHT11*

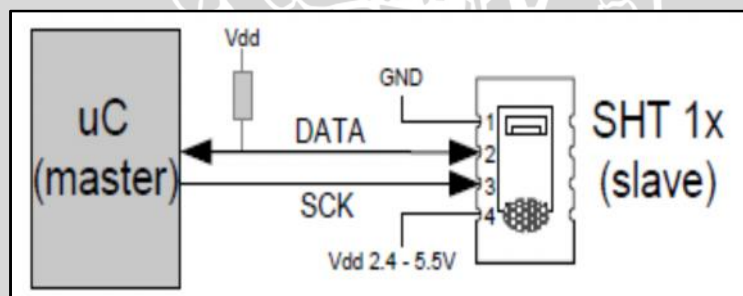
Pin yang terdapat pada sensor suhu dan kelembapan SHT 11 ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pin Sensor Suhu dan Kelembaban SHT 11

Pin	Fungsi
1	Ground
2	Data
3	SCK
4	VDD (2,4 – 5.5V)

Sumber : *Datasheet SHT11*

Aplikasi rangkaian umum pada sensor SHT 11 ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian aplikasi SHT 11

Sumber : <http://www.sensirion.com> datasheet SHT 11

2.3 Modul Sensor CO₂CDM4160

CDM4160 merupakan modul sensor gas yang dapat digunakan untuk menentukan kadar karbon dioksida yang terdapat pada udara. Modul ini berbasis sensor TGS4160 yang sudah dikalibrasi dan mampu melakukan pendeteksian gas karbon dioksida dengan range 400 - 45000 ppm.

CDM4160 adalah unit baru yang menggunakan TGS4160, tahan lama padat elektrolit sensor CO₂ Figaro. Dengan penerapan tegangan DC ke modul, tegangan

keluaran analog sebanding dengan konsentrasi CO₂ dapat diperoleh. Modul ini dapat menghasilkan sinyal control berdasarkan konsentrasi ambang batas yang dapat dipilih pengguna. Fitur-fitur tersebut membuat modul ini ideal untuk aplikasi control kualitas udara di rumah, kantor dan pabrik serta di bidang pertanian. Sensor TGS4160 dan CDM4160 ditunjukkan dalam Gambar 2.4 dan Gambar 2.5



Gambar 2.4 Sensor TGS4160
Sumber: Datasheet TGS4160



Gambar 2.5 Modul sensor CO₂ CDM4160
Sumber: Datasheet CDM4160

Spesifikasi dari CDM4160 ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Modul CDM4160

Model	CDM 4160-L00	CDM 4160-M00	CDM 4160-H00
Kisaran deteksi	400 sampai 4.500	400 sampai 9000	400 sampai 45000
	ppm	ppm	ppm
Sensor	TGS 4160		
Akurasi	± 20 %		
Power supply	DC 5.0 ± 0.2 V		
Konsumsi daya	1.3 W		
Lonjakan arus	600 mA (max)		
Suhu	~ 10° ~ +50°C, 5 ~ 95 % RH		

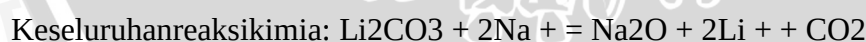
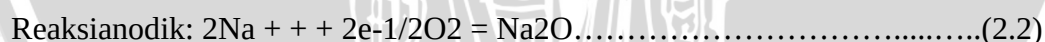
operasional	
Kelembapan	~ 20° ~ +50°C, 5 ~ 90 % RH
simpangan	
suhu	
Waktu	2 jam
pemanasan	
Masalah sinyal	ON : output rendah OFF : Float NC
Led Hijau	Daya hidup sementara (berkedip selama pemanasan)
Led Kuning	Berkedip saat kesulitan
Led Merah	Konsentrasi CO ₂ melebihi ambang batas
Reset	Menetapkan konsentrasi CO ₂ ambien sebagai 400ppm ketika ditekan
Dimensi	45x60x31mm
Berat	22g

Sumber: Datasheet CDM4160

Prinsip kerja sensor CO₂ mengadopsi prinsip kerja sel padat elektrolit.

Air, Au | NASICON | | karbonat | Au, udara, CO₂

Ketika sensor terkena CO₂, reaksi elektroda berikut terjadi:



Gaya gerak listrik (EMF) hasil dari reaksi elektroda atas, sesuai dengan Persamaan Nernst.

Persamaan :

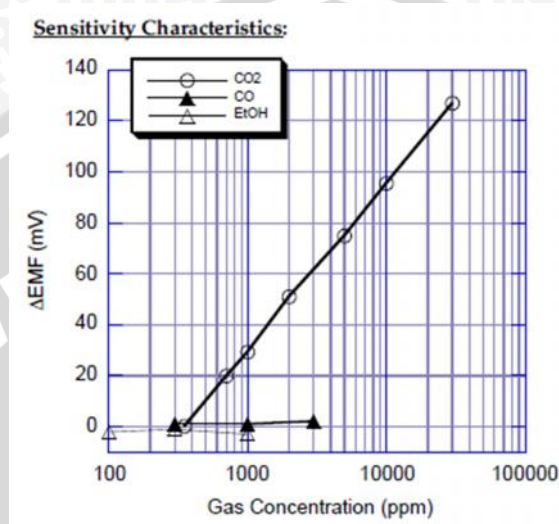
$$\text{EMF} = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P (\text{CO}_2)) \dots\dots\dots(2.3)$$

P (CO₂)- CO₂ = Tekanan Parsial

E_c = Volume Konstan

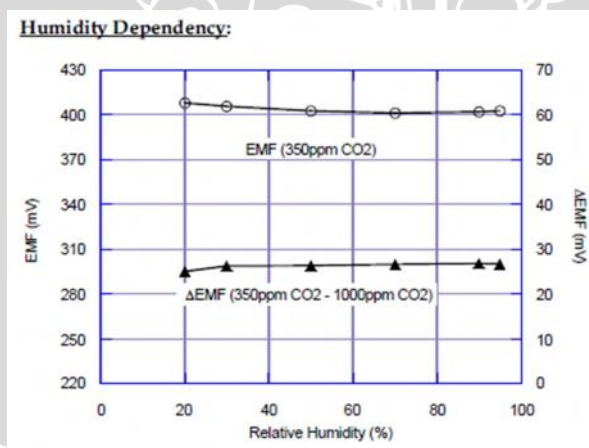
R = Konstanta Gas
T = Suhu Mutlak (K)
F = Konstanta Faraday

Sensitivitas sensor ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik Karakteristik Sensor CO₂.
Sumber: Datasheet CDM4160

Grafik karakteristik CO₂ terhadap kelembaban ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Grafik Karakteristik CO₂ Terhadap Kelembaban
Sumber: Datasheet CDM4160

2.4 Sensor PH

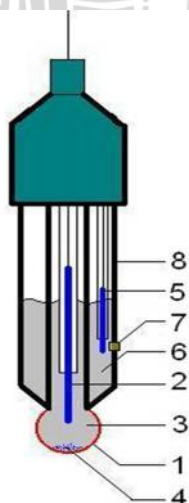
Elektrode kaca adalah sebangsa elektroda selektif ion dibuat dari membran kaca doped yang sensitif untuk satu ion spesifik. Ini merupakan salah satu bagian penting dari peralatan untuk analisis kimia dan studi-studi physico-chemical. Dalam praktik

modern, yang lebih sering digunakan secara luas ion membranosa elektrode-elektrode selektif (ISE, termasuk kaca) adalah bagian dari sel galvanik. Potensial elektrik dalam solusi sistem elektrode sensitif sampai pada perubahan-perubahan dalam isi tipe tertentu ion-ion, yang dicerminkan dalam ketergantungan tegangan gerak elektrik (EMF, *Electric Motion Force*) dari konsentrasi-konsentrasi unsur Galvanis ion-ion ini.

Elektroda kaca biasa digunakan untuk pengukuran pH. Ada juga elektrode-elektrode kaca ion sensitif khusus digunakan untuk penentuan konsentrasi litium, natrium, amonium, dan ion-ion lain. Elektrode-elektrode kaca telah digunakan dalam lingkup penerapan yang luas mulai dari riset murni, pengendalian proses industri, menganalisa makanan-makanan, kosmetika dan perbandingan indikator-indikator lingkungan dan peraturan lingkungan: mikroelektrode ukuran-ukuran potensial listrik membran satu sel biologis, ketajaman analisis tanah, dan lain-lain.

Hampir semua elektrode-elektrode yang dijual umum menanggapi perubahan ion-ion tunggal, seperti H^+ , Na^+ , Ag^+ . Elektrode kaca paling umum adalah elektrode pH. Hanya sedikit *chalcogenide* kaca yang sensitif untuk ion-ion ganda, seperti Pb^{2+} , Cd^{2+} dan beberapa lainnya. Akhir-akhir ini diperkirakan bahwa ada berjuta-juta pemakaian pHmeter di seluruh dunia, dalam aplikasi-aplikasi berkisar antara kimiawi, ilmu pengobatan dan pemantauan proses biologis industri makanan.

Ciri khas pH probe modern adalah kombinasi yang menggabungkan kedua elektroda kaca dan elektroda referensi menjadi satu bagian. Susunan dari elektroda tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Ilustrasi penampang melintang dari pH Probe
Sumber: Glass electrode scheme

Keterangan nomor dari gambar 2.8 adalah sebagai berikut:

- 1) Bola kaca pendeteksi dari probe, terbuat dari bahan kaca spesifik
- 2) Elektroda internal terbuat dari elektrode perak klorida atau elektrode *calomel*
- 3) Cairan *buffer* KCl dengan pH netral (pH = 7,0)
- 4) Endapan AgCl karena penggunaan elektrode perak klorida
- 5) Elektroda referensi dengan tipe dan bahan yang sama seperti nomor 2)
- 6) Cairan referensi internal, biasanya terbuat 0,1 mol/L KCl
- 7) Sambungan poros yang terbuat dari keramik, untuk pengisian cairan *buffer*
- 8) Bagian luar probe terbuat dari kaca non konduktif

Secara matematis pH ditulis dalam persamaan (2.4), dimana $[H^+]$ adalah konsentrasi molar ion hidrogen.

$$pH = -\log [H^+] \dots\dots\dots (2.4)$$

Pernyataan lengkap fungsi elektroda umum, dimana ketergantungan potensial pada pH memiliki perilaku linier dan elektroda seperti benar-benar bekerja sebagai elektroda ion-selektif untuk pH.

$$E = E^0 - \frac{2,3 RT}{nF} \cdot pH \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan F adalah konstanta Faraday, dan memasukkan persamaan (2.4) maka didapat rumusan perbedaan tegangan E_{pH} , yang muncul diantara elektroda referensi dan elektroda pendeteksi yang ditulis dengan persamaan Nernst (2.6):

$$E = E^0 + \frac{2,3 RT}{nF} \cdot \log[H^+] \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan E^0 adalah perbedaan tegangan dalam cairan dengan pH sama dengan 7, R adalah konstanta umum gas ($8,3144 \text{ J/(K/mol)}^{-1}$), K adalah temperatur dalam Kelvin, n adalah jumlah elektron valensi per mol (1 untuk H^+) dan F adalah konstanta faraday ($9.6485 \times 10^4 \text{ C/mol}$).

Berikut adalah karakteristik dari elektroda pH ideal:

- $V_0 = 0$ Volt pada pH netral (pH=7).
- Tegangan keluaran positif pada kondisi asam (pH<7).
- Tegangan keluaran negatif pada kondisi basa (pH>7).
- Rentang pengukuran pH adalah 0-14, asam kuat hingga basa kuat.
- Menghasilkan tegangan sebesar -59,16 mV per satuan pH pada suhu ruang.

- Rentang pengukuran pada skala penuh, pH 0 asam kuat dan pH 14 basa kuat, menghasilkan +/- 0,414 Volts pada 25 °C.

2.5 Mikrokontroler ATmega128

Secara umum, mikrokontroler berfungsi sama dengan komputer. Perbedaannya adalah mikrokontroler memiliki desain dalam sebuah *single chip* (IC). Mikrokontroler terdapat di hampir semua peralatan elektronik di sekeliling kita, didalam *tape*, TV, radio, dan telepon genggam (*handphone*). Mikrokontroler memiliki kemampuan yang diperlukan untuk membuat keputusan berdasarkan sinyal dari luar, dengan kata lain mikrokontroler merupakan otak dari sebuah perangkat elektronik.

ATmega128 merupakan salah satu mikrokontroler produksi ATMEL keluarga AVR yang mempunyai 128 kbyte Flash PEROM (*Flash Programmable and Erasable Read Only Memory*), 4 kbyte SRAM, 53 pin I/O yang mana tiap pin tersebut dapat diprogram secara paralel dan tersendiri, *real time counter* (RTC), empat buah *timer/counter* yang dapat diatur dengan menggunakan mode perbandingan (*compare mode*) dan PWM, dua buah USART, sebuah byte TWI (*two-wire serial interface*), sebuah port serial SPI, mempunyai 8 kanal 10 bit ADC, dan fitur *watchdog timer* terprogram dengan osilator internal.

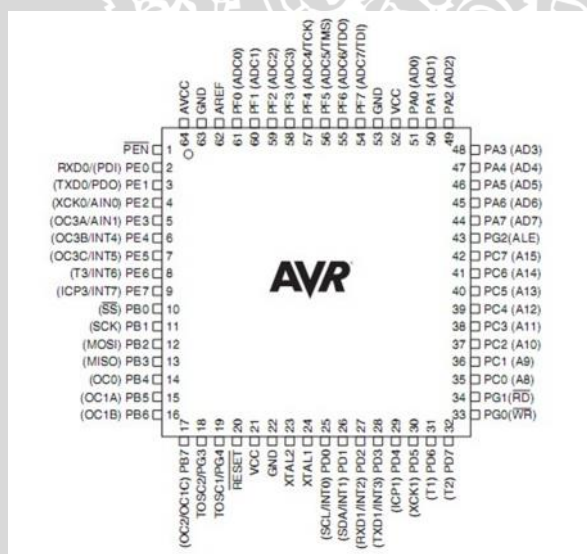
Pada dasarnya mikrokontroler adalah terdiri atas mikroprosesor, *timer*, dan *counter*, perangkat I/O dan internal memori. Mikrokontroler termasuk perangkat yang sudah didesain dalam bentuk chip tunggal. Mikrokontroler dikemas dalam satu chip (*single chip*). Mikrokontroler didesain dengan instruksi-instruksi lebih luas dan 8 bit instruksi yang digunakan membaca data instruksi dari *internal* memori ke ALU.

Dibanding mikroprosesor, mikrokontroler dalam sistem kontrol memiliki kelebihan dalam kemampuan dan lebih ekonomis karena dalam mikrokontroler sudah terdapat RAM dan ROM sedangkan di dalam mikroprosesor tidak terdapat keduanya. Secara umum konfigurasi yang dimiliki mikrokontroler Atmega128 adalah sebagai berikut :

- a) Sebuah CPU 8 bit dengan menggunakan teknologi dari Atmel.
- b) Memiliki memori baca-tulis sebesar 4 kbyte SRAM.
- c) Jalur dua arah (*bidirectional*) yang digunakan sebagai saluran masukan atau keluaran yang dikontrol oleh *register* DDR.

- d) Dua buah jalur komunikasi serial USART yang dapat diprogram.
- e) Sebuah *master/slave* serial SPI yang dapat diprogram.
- f) Sebuah *Two Wire Serial Interface*.
- g) Dua buah *timer/counter* 8 bit dan dua buah *timer/counter* 16 bit.
- h) Dua buah kanal PWM 8-bit
- i) *Watcdog Timer* yang dapat diprogram.
- j) *Analog to Digital Converter (ADC)* 10-bit dan *Analog comparator* di dalam chip.
- k) Osilator internal dan rangkaian pewaktu.
- l) Flash PEROM yang besarnya 128 kbyte untuk memori program
- m) Mampu beroperasi sampai 16 MHz.

Masing-masing kaki dalam mikrokontroler Atmega128 mempunyai fungsi tersendiri. Dengan mengetahui fungsi masing-masing kaki mikrokontroler ATmega128, perancangan aplikasi mikrokontroler ATmega128 akan lebih mudah. Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega128 ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega128

Sumber: Atmel, 2010: 2

Mikrokontroler ATmega128 memiliki karakteristik elektrik dari pada keadaan tertentu (mikrokontroler dapat bekerja dengan baik) dimana $T_A = -40^\circ\text{C}$ sampai dengan 85°C dan $V_{CC} = 2.7\text{V}$ sampai dengan 5.5V . Karakteristik tersebut ditunjukkan dalam Tabel 2.4

Tabel 2.4 Karakteristik DC Mikrokontroler ATmega128

Simbo	Parameter	Kondisi	Min.	Typ	Max.	Uni t
V_{IL}	Input Low Voltage (kecuali XTAL1 & RESET)	$V_{CC} = 2.7 - 5.5$	-0,5		$0,2V_C$ ⁽¹⁾	V
V_{IH}	Input High Voltage (kecuali XTAL1 & RESET)	$V_{CC} = 2,7 - 5,5$	$0,6V_C$ ⁽²⁾		$V_{CC}+0,5$	V
V_{IL1}	Input Low Voltage pin XTAL1	$V_{CC} = 2,7 - 5,5$	-0,5		$0,1V_{CC}$ ⁽¹⁾	V
V_{IH1}	Input High Voltage pin XTAL1	$V_{CC} = 2,7 - 5,5$	$0,7V_C$ ⁽²⁾		$V_{CC}+0,5$	V
V_{IL2}	Input Low Voltage pin RESET	$V_{CC} = 2,7 - 5,5$	-0,5		$0,2V_{CC}$ ⁽¹⁾	V
V_{IH2}	Input High Voltage pin RESET	$V_{CC} = 2,7 - 5,5$	$0,85V_C$ ⁽²⁾		$V_{CC}+0,5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽³⁾ (Ports A,B,C,D,E,F,G)	$I_{OL} = 20 \text{ mA}, V_{CC} = 5V$ $I_{OL} = 10 \text{ mA}, V_{CC} = 3V$			0,9 0,6	V
V_{OH}	Output High Voltage ⁽⁴⁾ (Port A,B,C,D,E,F,G)	$I_{OH} = -20 \text{ mA}, V_{CC} = 5V$ $I_{OH} = -10 \text{ mA}, V_{CC} = 3V$	4,2 2,2			V
I_{IL}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin low (absolute value)			1,0	μA
I_{IH}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin high (absolute value)			1,0	μA
R_{RST}	Reset Pull-up Resistor		30	60	85	$k\Omega$
R_{PEN}	PEN Pull-up Resistor		30		60	$k\Omega$
R_{PU}	I/O Pin Pull-up Resistor		20		50	$k\Omega$

Power Supply Current	I_{CC}	Active 4 MHz, $V_{CC} = 3V$	3	5,5	mA
		Active 8 MHz, $V_{CC} = 5V$	9,8	19	mA
		Idle 4 MHz, $V_{CC} = 3V$	1	2,5	mA
		Idle 8 MHz, $V_{CC} = 5V$	3,5	11	mA
Power-down Mode		WDT enabled, $V_{CC} = 3V$	<10	25	μA
		WDT disabled, $V_{CC} = 3V$	<1	10	μA
V_{ACI}	Analog Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5V, V_{in} = V_{CC}/2$	40		mV
		$V_{CC} = 5V, V_{in} = V_{CC}/2$	-50	50	nA
I_{ACLK}	Analog Comparator Input Leakage Current	$V_{CC} = 2,7V$	750		ns
		$V_{CC} = 5,0V$	500		

Sumber: Atmel, 2010:320

2.5.1 Struktur Operasi Port pada ATmega128

Mikrokontroler ATmega128 ini mempunyai 6 port, masing-masing port memiliki 8 jalur I/O. Beberapa karakteristik port mikrokontroler ATmega128 dijelaskan secara singkat berikut ini:

- Setiap jalur I/O memiliki *buffer*, penahan (*latch*), kemudi *input* dan kemudi *output*.
- Setiap jalur I/O terdapat register pengatur apakah dijadikan *input* atau dijadikan *output*.
- Port A merupakan port I/O 8 bit dua arah dengan *pull-up* internal. Fungsi tambahan dari port A adalah sebagai jalur pengalamatan (*low byte*) dan data untuk antarmuka memori eksternal. Fungsi tambahan port A ditunjukkan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Fungsi Khusus Port A

Pin	Fungsi Tambahan
PA7	AD7 (External memory interface address and data bit 7)
PA6	AD6 (External memory interface address and data bit 6)
PA5	AD5 (External memory interface address and data bit 5)
PA4	AD4 (External memory interface address and data bit 4)
PA3	AD3 (External memory interface address and data bit 3)
PA2	AD2 (External memory interface address and data bit 2)
PA1	AD1 (External memory interface address and data bit 1)
PA0	AD0 (External memory interface address and data bit 0)

Sumber : Atmel, 2010: 73

- d) Port B merupakan port I/O dua arah dengan *pull-up* internal. Fungsi tambahan dari port B ditunjukkan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Fungsi Khusus Port B

Pin	Fungsi Tambahan
PB7	OC2/OC1C (Output Compare and PWM Output for Timer/Counter2 or Output Compare and PWM Output C for Timer/Counter1)
PB6	OC1B (Output Compare and PWM Output B for Timer/Counter1)
PB5	OC1A (Output Compare and PWM Output A for Timer/Counter1)
PB4	OC0 (Output Compare and PWM Output for Timer/Counter0)
PB3	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB2	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB1	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB0	$\overline{SS}$ (SPI Slave Select Input)

Sumber : Atmel, 2010: 74

- e) Port C merupakan port I/O dua arah dengan *pull up* internal. Di dalam mode ATmega103 *compatibility*, PORTC hanya sebagai output. Secara *default*, ATmega128 telah diset dalam mode ATmega103 *compatibility*. Fungsi tambahan dari PORTC adalah sebagai jalur alamat (*high byte*) untuk antarmuka memori eksternal, penjabaran lebih detail ditunjukkan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Fungsi Khusus Port C

Pin	Fungsi Tambahan
PC7	A15
PC6	A14
PC5	A13
PC4	A12
PC3	A11
PC2	A10
PC1	A9
PC0	A8

Sumber : Atmel, 2010: 77

- f) Port D merupakan port I/O dua arah dengan *pull up* internal. Fungsi tambahan dari port D ditunjukkan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Fungsi Khusus Port D

Pin	Fungsi Tambahan
PD7	T2 (Timer/Counter2 Clock Input)
PD6	T1 (Timer/Counter1 Clock Input)
PD5	XCK1 (USART1 External Clock Input/Output)
PD4	ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
PD3	INT3 / TXD1 (External Interrupt3 Input or UART1 Transmit)

	Pin)
PD2	$\overline{\text{INT2}}$ / RXD1 (External Interrupt2 Input or UART1 Receive Pin)
PD1	$\overline{\text{INT1}}$ / SDA (External Interrupt1 Input or TWI Serial Data)
PD0	$\overline{\text{INT0}}$ / SCL (External Interrupt1 Input or TWI Serial Clock)

Sumber : Atmel, 2010: 78

- g) Port E merupakan port I/O dua arah dengan *pull up* internal. Fungsi tambahan dari port E ditunjukkan dalam Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Fungsi Khusus Port E

Pin	Fungsi Tambahan
PE7	INT7/ICP3 (External Interrupt 7 Input or Timer/Counter3 Input Capture Pin)
PE6	INT6/T3 (External Interrupt 6 Input or Timer/Counter3 Clock Input)
PE5	INT5/OC3C (External Interrupt 5 Input or Output Compare and PWM Output C for Timer/Counter3)
PE4	INT4/OC3B (External Interrupt 4 Input or Output Compare and PWM Output B for Timer/Counter3)
PE3	AIN1/OC3A (Analog Comparator Negative Input or Output Compare and PWM Output A for Timer/Counter3)
PE2	AIN0/XCK0 (Analog Comparator Positive Input or USART external clock input)
PE1	PDO/TXD0 (Programming Data Output or UART0 Transmit Pin)

PE0 PDI/RXD0 (Programming Data Input or UART0 Receive Pin)

Sumber : Atmel, 2010: 81

Keterangan: 1. ICP3, T3, OC3C, OC3B, OC3A, dan XCK0 tidak dapat dipakai dalam mode ATmega103 *compatibility*.

- h) Port F digunakan sebagai jalur masukan sinyal analog untuk A/D Converter. Port F juga dapat digunakan sebagai port I/O 8-bit *bidirectional* serta disediakan resistor *pull-up* pada masing-masing pin. Fungsi tambahan dari port E ditunjukkan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Fungsi Khusus Port F

Pin	Fungsi Tambahan
PF7	ADC7/TDI (ADC Input Channel 7 or JTAG Test Data Input)
PF6	ADC6/TDO (ADC Input Channel 6 or JTAG Test Data Output)
PF5	ADC5/TMS (ADC Input Channel 5 or JTAG Test Mode Select)
PF4	ADC4/TCK (ADC Input Channel 4 or JTAG Test Clock)
PF3	ADC3 (ADC Input Channel 3)
PF2	ADC2 (ADC Input Channel 2)
PF1	ADC1 (ADC Input Channel 1)
PF0	ADC0 (ADC Input Channel 0)

Sumber : Atmel, 2010: 83

- i) Port G merupakan port I/O 5-bit dua arah dengan *pull up* internal. Di dalam mode ATmega103 *compatibility*, PORTG hanya dapat menjalankan fungsi

alternatif saja dan tidak dapat digunakan sebagai pin I/O pada umumnya. Fungsi alternatif PORTG ditunjukkan dalam Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Fungsi Khusus Port G

Pin	Fungsi Tambahan
PG4	TOSC1 (RTC Oscillator Timer/Counter0)
PG3	TOSC2 (RTC Oscillator Timer/Counter0)
PG2	ALE (Address Latch Enable to external mamory)
PG1	$\overline{RD}$ (Read strobe to external memory)
PG0	$\overline{WR}$ (Write strobe to external memory)

Sumber : Atmel, 2010: 85

2.5.2 Komunikasi Data Serial

Ada 2 macam cara komunikasi data serial yaitu Sinkron dan Asinkron. Pada komunikasi data serial sinkron, *clock* dikirimkan bersama sama dengan data serial, tetapi *clock* tersebut dibangkitkan sendiri-sendiri baik pada sisi pengirim maupun penerima. Sedangkan pada komunikasi serial asinkron tidak diperlukan *clock* karena data dikirimkan dengan kecepatan tertentu yang sama baik pada pengirim maupun penerima.

Pada UART, kecepatan pengiriman data (*baudrate*) dan *fase clock* pada sisi transmitter dan sisi receiver harus sinkron. Untuk itu diperlukan sinkronisasi antara Transmitter dan Receiver. Hal ini dilakukan oleh bit “Start” dan bit “Stop”. Ketika saluran transmisi dalam keadaan *idle*, output UART adalah dalam keadaan logika “1”. Ketika Transmitter ingin mengirimkan data, *output* UART akan diset dulu ke logika “0” untuk waktu satu bit. Sinyal ini pada receiver akan dikenali sebagai sinyal “Start” yang digunakan untuk menyinkronkan *fase clock* nya sehingga sinkron dengan *fase clock* transmitter.

Selanjutnya data akan dikirimkan secara serial dari bit yang paling rendah (bit 0) sampai bit tertinggi. Selanjutnya akan dikirimkan sinyal “Stop” sebagai akhir dari pengiriman data serial. Sebagai contoh misalnya akan dikirimkan data huruf “A”

dalam format ASCII (atau sama dengan 41 heksa atau 0100 0001). Kecepatan transmisi (*baud rate*) dapat dipilih bebas dalam rentang tertentu. *Baudrate* yang umum dipakai adalah 110, 135, 150, 300, 600, 1200, 2400, dan 9600 (bit/per detik). Dalam komunikasi data serial, *baudrate* dari kedua alat yang berhubungan harus diatur pada kecepatan yang sama. Selanjutnya harus ditentukan panjang data (6,7 atau 8 bit), paritas (genap, ganjil, atau tanpa paritas), dan jumlah bit “Stop” (1, 1 ½, atau 2 bit).

Mikrokontroler ATmega128 dilengkapi dengan fasilitas komunikasi serial USART (*Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter*). Untuk menghitung *baudrate* komunikasi serial digunakan rumus seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Rumus Penghitungan *Baudrate*

Operating Mode		Equation for Calculating Baud Rate	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous mode (U2X = 0)	Normal	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR+1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Speed Mode (U2X = 1)	Double	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR+1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master Mode		$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR+1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$

Sumber : Atmel, 2006:136

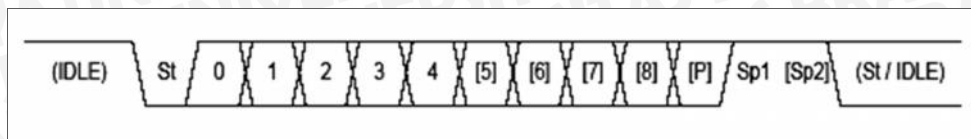
dengan:

f_{osc} = Frekuensi *clock* sistem osilator

UBRR = Register *baudrate* yang terdiri dari UBRRH dan UBRRH

BAUD = *Baudrate* dalam *bit per second* (bps)

Format pengiriman data secara serial menggunakan ATmega128 ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Format Pengiriman Data Serial

Sumber : Atmel, 2006:137

dengan:

St = Bit *start* selalu berlogika rendah

(n) = Banyaknya data yang dikirim (0-8)

P = Bit paritas (ganjil atau genap)

Sp = Bit *stop* selalu berlogika tinggi (bit stop bisa berjumlah 1 atau 2)

IDLE = Tidak ada data yang ditransfer pada RX dan TX, IDLE selalu berlogika tinggi.

2.6 Ultrasonic Atomizer

Ultrasonic atomizer adalah alat yang dapat mengubah tetesan air biasa menjadi embun yang sangat halus. Alat ini biasanya terdiri dari generator dan *probe*. Generator disini menghasilkan getaran dengan frekwensi tertentu dan melewatkannya di *probe* yang akan dilewati oleh air. Air yang lewat tersebut akan berubah menjadi partikel yang sangat kecil. Alat ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi antara lain memberikan kelembaban pada gas, memasukkan cairan ke sebuah reactor dan lain lain.

Ultrasonic atomizer bekerja dengan sebuah tegangan dengan frekwensi rendah dan kemudian diubah menjadi energy listrik dengan frekwensi yang tinggi yang dikonversikan ke getaran mekanik dengan transduser *piezoelectric* yang biasanya terbuat dari keramik. Aliran air yang lewat di transduser ini akan bergetar dan berubah menjadi partikel partikel air. Besarnya partikel air tersebut tergantung dari frekwensi energi elektrik yang ada dan banyaknya partikel yang keluar tergantung *viscosity* dari cairan dan frekwensi.

Ultrasonic Atomizer ini memiliki kelebihan antara lain menghasilkan hasil partikela air yang seragam dan dapat jumlah yang diberikan dapat diatur dengan pasti.

Dan cairan yang dapat dipecah tidak hanya air murni saja sehingga dapat digunakan di berbagai aplikasi. pada Gambar 2.11 menunjukkan salah satu bentuk *ultrasonic atomizer* yang terdiri dari pembangkit frekwensi dan kontroler serta *probe*.

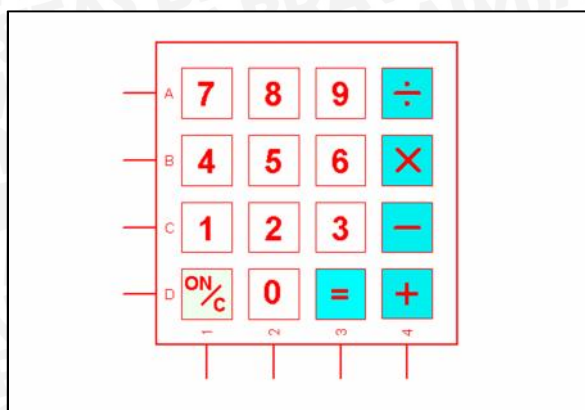


Gambar 2.11 Ultrasonic atomizer
Sumber : *sonic & material.inc*

2.7 Keypad 4x4

Keypad merupakan salah satu perangkat elektronik yang berfungsi sebagai masukan. Keypad terdiri atas sekumpulan tombol atau *push button* yang disusun secara khusus yang pada umumnya memiliki label atau penanda tertentu untuk membedakan antara tombol satu dengan tombol yang lainnya. Karena keterbatasan pin suatu pengontrol (mikrokontroler), maka *keypad* diproduksi oleh pabrik menjadi lebih sederhana sehingga tidak menghabiskan jalur kabel atau pin sebagai antarmukanya.

Dalam penelitian ini, digunakan *keypad* matrik 4x4, sehingga memiliki 16 tombol. *Keypad* tersebut memiliki 8 pin keluaran yang dapat dihubungkan langsung ke suatu pin mikrokontroler. Sehingga dibutuhkan 8 pin juga pada mikrokontroler untuk mengakses *keypad* matrik jenis ini. Konfigurasi pin *keypad* matrik 4x4 dengan keluaran 8 pin ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konfigurasi Pin Keypad Martik 4x4
Sumber: Software Proteus ISIS Schematic Library, 2009

2.8 Modul Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) Karakter merupakan perangkat elektronika termodyang digunakan untuk menampilkan karakter, baik berupa karakter angka, huruf, atau karakter lainnya, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara visual. Modul LCD karakter yang ada di pasaran sangatlah bermacam-macam. Jenis modul LCD karakter pada umumnya ditentukan menurut spesifikasi jumlah karakter yang dapat ditampilkan, warna karakter yang ditampilkan, dan juga warna *backlight* LCD. Meskipun memiliki spesifikasi berbeda-beda, jumlah serta fungsi pin LCD karakter tetap sama. Gambar 2.13 menunjukkan konfigurasi pin LCD karakter 20x4, dan Tabel 2.13 menunjukkan fungsi masing-masing pin LCD karakter.



Gambar 2.13 Konfigurasi Pin LCD Karakter 4X20
Sumber: Software Proteus ISIS Schematic Library, 2009

Tabel 2.13 Fungsi Masing-masing Pin LCD Karakter 20x4

No	Simbol	Level	Fungsi
1	Vss	Power Suply	GND
2	Vcc		5 volt

3	Vee		LCD Drive
4	RS	H/L	H: Data Input L: Ins Input
5	R/W	H/L	H: Read L: Write
6	E	H	Enable Signal
7	DB0	H/L	
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	Data Bus
12	DB5	=/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	
15	V+BL		4 - 4.2 volt
16	V-BL		Power Suply GND

Sumber: *Manual Book LCD 20x4*

Dalam penelitian ini digunakan modul LCD karakter 20x4, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Memiliki 20 karakter dan 4 baris tampilan.
- Memerlukan tegangan 5VDC.
- Otomatis *reset* saat catu daya dinyalakan.
- Memiliki EEPROM95 *full* (80 karakter).
- Menggunakan 4 bit data dan 3 bit kontrol.

2.9 Syringe Pump

Syring pump merupakan salah satu metode dalam *infusion system* yang merupakan alat yang digunakan untuk mengalirkan cairan atau obat ke dalam tubuh pasien dan cara yang sering digunakan antara lain secara *intravenous*, *subcutaneous*, *epidural* atau *enteral*.

Syringe pump memanfaatkan gaya dorong untuk menekan *syringe* dengan kecepatan alir yang telah ditentukan. Gaya dorong ini dihasilkan melalui gerak motor yang terprogram kecepatannya dan dapat disesuaikan sesuai volume dari *syringe* yang digunakan. Adapun bagian bagian dari *syringe pump* antara lain :

- Operational panel yang berisi tombol, indicator dan perngontrol dari *syrine pump*
- *Clamp* yang merupakan penjepit dari *syringe*
- *Slit* yang merupakan celah yang digunakan meletakkan *syringe*
- *Slider hook*
- *Slider*
- *Dial*



Gambar 2.14 Syringe Pump

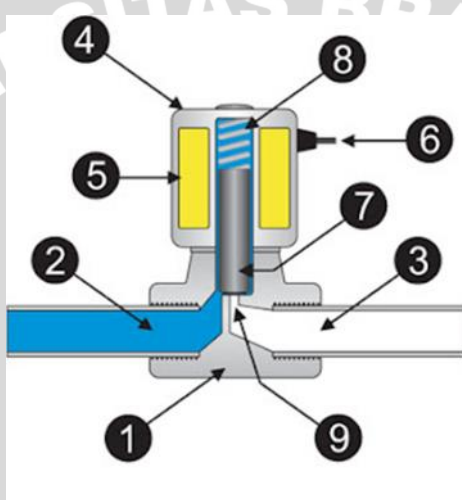
Sumber : sino medical device technology co. ltd.

2.10 Solenoid Valve

Solenoid valve adalah katup yang digerakan oleh energi listrik, mempunyai kumparan sebagai penggeraknya yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC. *Solenoid valve* atau katup (*valve*) solenoida mempunyai lubang keluaran, lubang masukan dan lubang exhaust. Lubang masukan, berfungsi sebagai terminal / tempat cairan masuk atau *supply*, lalu lubang keluaran berfungsi sebagai terminal atau tempat cairan keluar yang dihubungkan ke beban,

sedangkan lubang *exhaust*, berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan cairan yang terjebak saat piston bergerak atau pindah posisi ketika *solenoid valve* bekerja.

Prinsip kerja dari *solenoid valve*/katup (*valve*) solenoida yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggeraknya dimana ketika koil mendapat *supply* tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston pada bagian dalamnya, ketika piston berpindah posisi maka pada lubang keluaran dari solenoid valve akan keluar cairan yang berasal dari *supply*, pada umumnya solenoid valve mempunyai tegangan kerja 100/200 VAC namun ada juga yang mempunyai tegangan kerja DC. Struktur solenoid ditunjukkan dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Struktur fungsi solenoid valve

Sumber: <http://meriwardana.blogspot.com/2011/11/solenoid-valve.html>

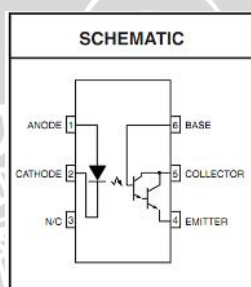
Keterangan Gambar :

1. Valve Body
2. Terminal masukan (*Inlet Port*)
3. Terminal keluaran (*Outlet Port*)
4. Koil / koil solenoid
5. Kumparan gulungan
6. Kabel suplai tegangan
7. Plunger
8. Spring
9. Lubang / *exhaust*

2.11 Optocoupler 4N33

Optocoupler digunakan ketika mendrive perangkat elektronik yang mempunyai beda tegangan yang besar terhadap tegangan kontrol.

Optocoupler adalah komponen elektronika yang berfungsi seperti saklar elektronik. Yang membedakan optocoupler dengan transistor adalah pemicuannya menggunakan cahaya optik. Kemudian di sisi penerima terdapat photo transistor yang dapat menerima sinyal berupa cahaya yang dipancarkan oleh cahaya optik. Optocoupler mempunyai keunggulan isolasi tegangan yang cukup baik, karena bagian basis dengan kolektor dipisahkan atau diisolasi menggunakan udara yang mempunyai resistansi yang sangat besar. Aplikasi optocoupler biasanya digunakan sebagai driver antara tegangan kecil dengan tegangan yang lebih besar. Skematik optocoupler 4N33 ditunjukkan dalam Gambar 2.16.



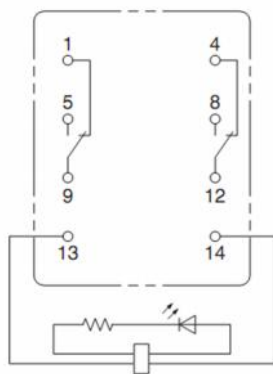
Gambar 2.16 Skematik optocoupler 4N33

Sumber: *Datasheet 4N33*

2.12 Relay Omron MY2N-J

Relay disini digunakan untuk melewati tegangan ke aktuator dengan picu ON/OFF.

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip, relay merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya. Ketika solenoid dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. Pin – Pin Relay Omron MY2N-J ditunjukkan Gambar 2.17 Keterangan Pin-Pin Relay Omron MY2N-J ditunjukkan dalam Tabel 2.14



Gambar 2.17 Pin-Pin Relay DPDT
Sumber: Datasheet Relay

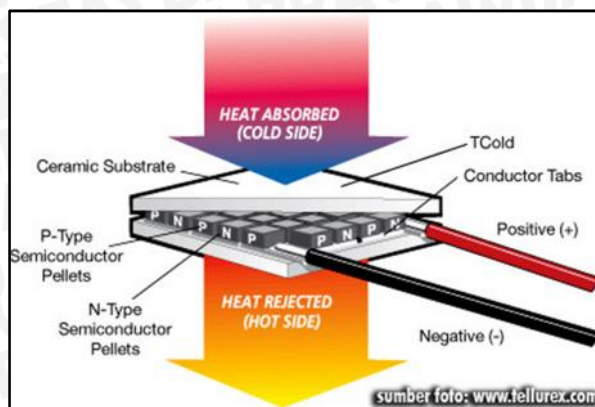
No	Simbol
1	NC
4	NC
5	NO
8	NO
9	COM
12	COM
13	COIL
14	COIL

Tabel 2.14 Pin-Pin Relay DPDT
Sumber: Datasheet Relay

2.13 Peltier

Peltier merupakan modul *Thermo-Electric*, umumnya dibungkus oleh keramik tipis yang berisikan batang-batang Bismuth Telluride di dalamnya. Ketika disupply tegangan DC 12 V-15 V salah satu sisi akan menjadi panas, sementara sisi lainnya akan dingin.

Cara kerja Peltier, dengan membuat panas disatu sisi, kemudian di sisi lain, panas akan terserap hingga terasa dingin. Beda suhu antara sisi panas dan dingin bisa mencapai 65 derajat celcius. Struktur Peltier ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Struktur Peltier

Sumber: <http://www.tellurex.com/technology/peltier-faq.php>

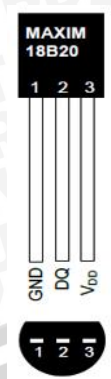
Dari prinsip di atas, kita bisa mendinginkan sisi panas dengan memasang sirip pendingin (*heatsink*) bahkan ditambah kipas (*blower/fan*).

2.14 Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 adalah sensor temperature digital yang menyediakan 9 bit hingga 12 bit untuk pengukuran temperatur dalam celcius. Komunikasi sensor ini melalui 1-wire bus yang berarti hanya membutuhkan satu jalur data untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. Sensor ini beroperasi untuk rentang temperatur -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dan memiliki akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pada rentang -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$. Tiap sensor DS18B20 memiliki kode serial 64 bit yang unik, yang memiliki fungsi 1-wire bus yang sama. Sehingga memungkinkan untuk menggunakan banyak sensor DS18B20 yang terdistribusi pada suatu area. Aplikasi ini menguntungkan untuk sistem pemantauan temperatur.

Bentuk fisik DS18B20 ditunjukkan dalam Gambar 2.19 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- *Interface* sensor berupa 1-wire bus yang hanya membutuhkan satu pin dalam satu port untuk komunikasi.
- Memiliki kode serial 64 *bit* yang unik dan tersimpan di *on-board* ROM.
- Power supply 3 V sampai 5,5 V.
- Pengukuran temperatur dari -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$.
- Memiliki akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pada rentang -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$.
- Memiliki resolusi thermometer yang dapat dipilih mulai dari 9 *bit* hingga 12 *bit*.



Gambar 2.19 Bentuk Fisik DS18B20

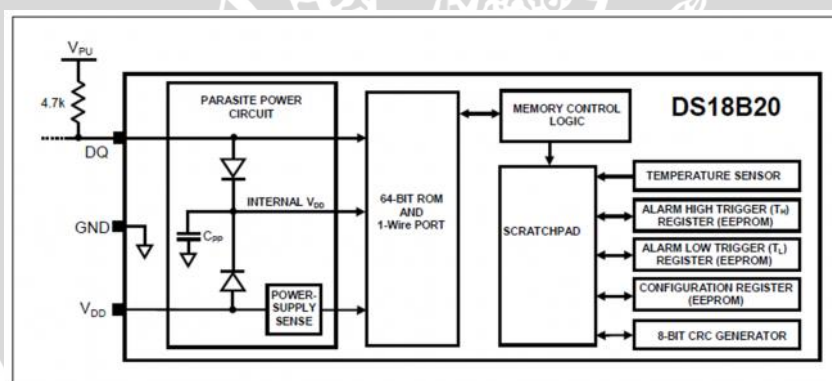
Sumber: Datasheet DS18B20

Deskripsi pin dan blok diagram DS18B20 ditunjukkan dalam Tabel 2.15 dan Gambar 2.20.

Tabel 2.15 Pin-pin Sensor Suhu DS18B20

Pin	Nama	Fungsi
1	GND	Ground
2	DQ	Data input/output
3	Vdd	Tegangan input

Sumber: Datasheet DS18B20



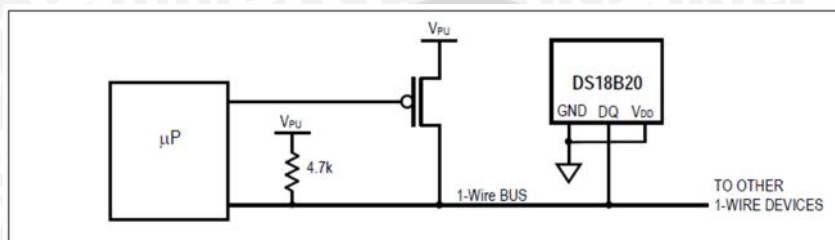
Gambar 2.20 Blok Diagram DS18B20

Sumber: Datasheet DS18B20

Supply pada DS18B20 terdapat 2 jenis mode yaitu supply dari luar (*external*) dan mode pensuplaian secara parasit (*parasite power*). Pada mode pensuplaian dari luar maka supply harus dihubungkan pada pin V_{dd} sedangkan jika menggunakan mode parasit power DS18B20 tidak memerlukan supply dari luar.

Dengan menggunakan mode parasit power saat DS18B20 dalam proses konversi temperatur atau menyalin data dari memori *scratchpad* ke EEPROM, arus yang

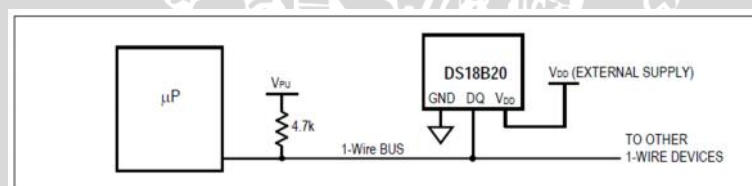
beroperasi mencapai 1.5mA. untuk memastikan bahwa DS18B20 mendapatkan arus yang cukup, maka diperlukan *pull-up* yang kuat pada jalur 1-wirenya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21 Dengan menggunakan mode parasit power tidak direkomendasikan untuk pengukuran temperature diatas 100°C karena DS18B20 tidak mampu menahan komunikasi yang disebabkan kebocoran arus yang tinggi.



Gambar 2.21 Supply dengan Mode Parasit Power

Sumber: Datasheet DS18B20

DS18B20 dapat juga diberikan power dengan metode konvensional dengan menghubungkan power supply luar dengan pin V_{dd} seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.22 untuk aplikasi pada temperatur tinggi tersebut sangat disarankan untuk menggunakan power supply dari luar.



Gambar 2.22 Supply dengan Mode Konvensional

Sumber: Datasheet DS18B20

Setiap DS18B20 memiliki 64-bit kode yang tersimpan di ROM dimana 8 bit pertama (LSB) merupakan kode family DS18B20 seperti yang terlihat pada Gambar 2.23 Pembacaan kode family ini ada perintah 28h, 48h bit selanjutnya merupakan nomor serial dan 8 bit terakhir (MSB) adalah *byte cyclic redundancy check* (CRC) yang dihitung dari 56 bit pertama pada ROM.

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER		8-BIT FAMILY CODE (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Gambar 2.23 64-bit ROM Code DS18B20

Sumber: Datasheet DS18B20

Semua transaksi DS18B20 pada jalur 1-wire dimulai dengan langkah inisialisasi. Pada tahap inisialisasi dilakukan reset pulsa yang dikirim oleh master dan *presense* pulsa yang dikirim oleh *slave*. Setelah *master* mendeteksi pulsa yang muncul, maka akan berlanjut ke step ROM *command*. Perintah ini akan mengoperasikan kode 64-bit ROM pada setiap *device* dan *master* akan memilih *device* tertentu jika terdapat *device* dalam 1 jalur. Perintah ini juga memungkinkan master untuk menentukan jumlah dan mode *device* yang diperbolehkan dalam jalur 1-wire.

Setelah jalur digunakan oleh ROM *command* untuk memberi alamat DS18B20 agar dapat berkomunikasi, maka *master* dapat melakukan langkah *function command* pada DS18B20. Perintah-perintah ini memungkinkan *master* untuk menulis dan membaca data dari memori *scrathpad*, menginisialisasi pengkonversian temperatur, dan menentukan mode *power supply*.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penyusunan penelitian ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiannya agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, studi literatur, perancangan alat, prinsip kerja sistem, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

3.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Data yang dikirim berupa karakter untuk aktuator suhu, kelembaban dan CO₂ dan berupa selisih data dengan setpoint untuk aktuator pH dan diikuti tanda plus dan minus.
2. Data dikirim melalui komunikasi USART dengan baudrate 9600.
3. Proses pengiriman data dilakukan setiap satu detik sekali.

3.3 Studi Literatur

Dalam penyusunan karya tulis ini, pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literatur (*library research*), penelusuran informasi digital, dan wawancara narasumber dengan sasaran tinjauan antara lain :

1. Informasi internet.
2. Pustaka-pustaka referensi.
3. Pustaka penunjang.

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan perealisasiannya alat. Adapun teori-teori yang dikaji adalah sebagai berikut:

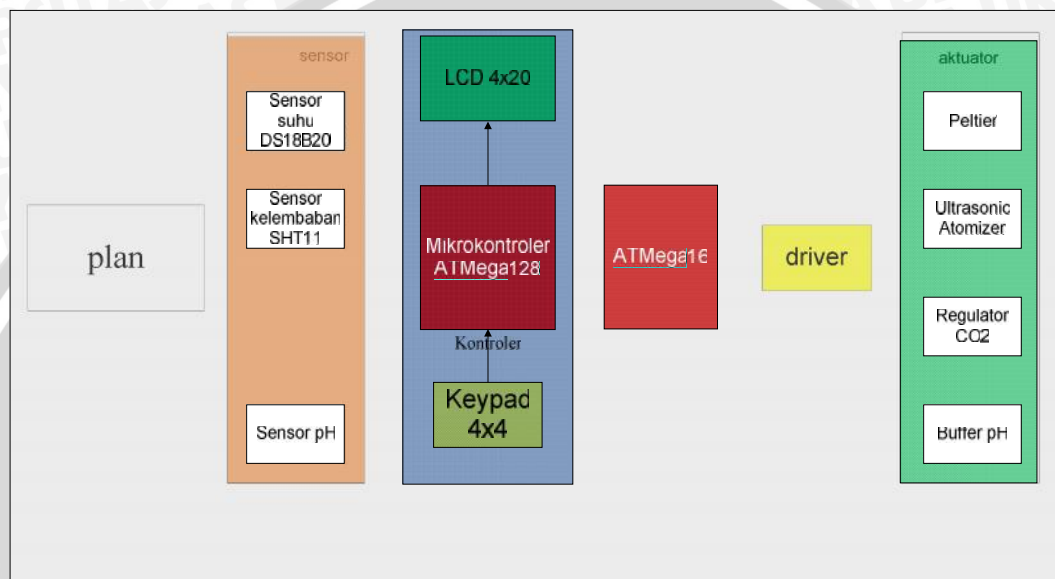
1. Sistem Mikrokontroler ATmega128.

3.4 Perancangan Alat

Perancangan dan pembuatan alat dilakukan untuk merancang dan merealisasikan alat yang akan dibuat. Perancangan alat yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perancangan diagram blok sistem

Perancangan diagram blok sistem dilakukan untuk mengetahui keseluruhan sistem secara umum, termasuk kinerja dari masing-masing blok sistem. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

Diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 merupakan diagram blok keseluruhan sistem, sedangkan diagram blok yang berwarna biru merupakan sistem yang dibahas dalam penelitian ini.

2. Perancangan sistem elektrik alat
 - a. Perancangan sistem minimum mikrokontroler
3. Perancangan perangkat lunak
 - a. Perancangan perangkat lunak keseluruhan sistem
 - b. Perancangan perangkat lunak sensor kelembaban SHT11
 - c. Perancangan perangkat lunak sensor CO₂CDM4160
 - d. Perancangan perangkat lunak sensor pH
 - e. Perancangan perangkat lunak sensor suhu DS18B20

3.5 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

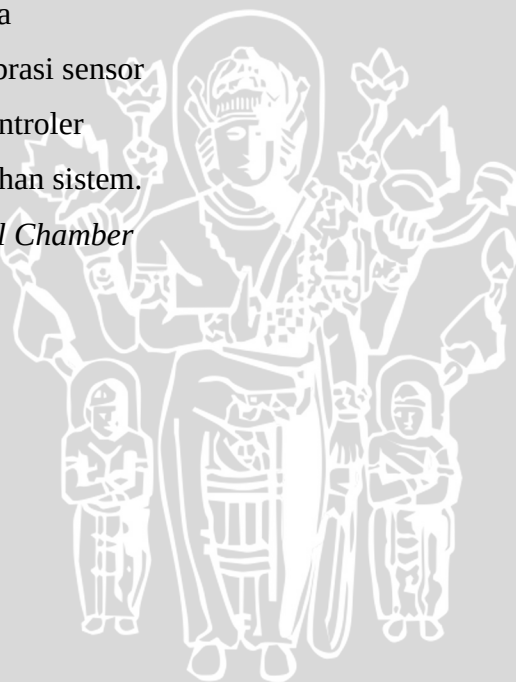
1. Mikrokontroler membaca data yang dikeluarkan oleh sensor suhu, kelembaban, pH dan sensor CO₂.
2. Data yang diterima oleh mikrokontroler akan diproses sehingga akan menghasilkan data yang dibutuhkan di dalam penelitian ini.
3. Data hasil proses akan dikirim ke aktuator melalui ATmega16 dengan menggunakan komunikasi serial USART.

Proses tersebut akan dilakukan terus menerus agar data yang diperoleh selalu sesuai dengan spesifikasi alat yang dibuat.

3.6 Pengujian Sistem

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian rangkaian. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dan kemudian secara keseluruhan sistem. Pengujian alat dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian catu daya
2. Pengujian dan kalibrasi sensor
3. Pengujian mikrokontroler
4. Pengujian keseluruhan sistem.
5. Pengujian *Live Cell Chamber*



BAB IV

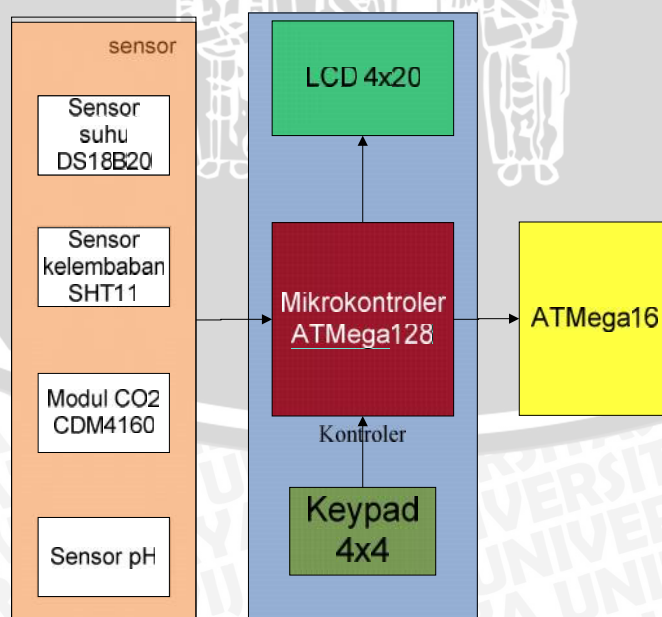
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan alat ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknya maupun secara keseluruhan. Perancangan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi beberapa hal, antara lain:

- Perancangan diagram blok sistem.
- Perancangan perangkat keras (perancangan sistem minimum mikrokontroler ATmega128).
- Perancangan perangkat lunak (perancangan perangkat lunak sistem keseluruhan).

4.1 Perancangan Diagram Blok *Plan Live Cell Chamber*

Pembuatan diagram blok merupakan dasar dari perancangan sistem agar perancangan dan perealisasiian alat berjalan secara sistematis. Diagram blok sistem yang dirancang ini ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Penjelasan mengenai diagram blok rancangan elektronik di atas adalah sebagai berikut:

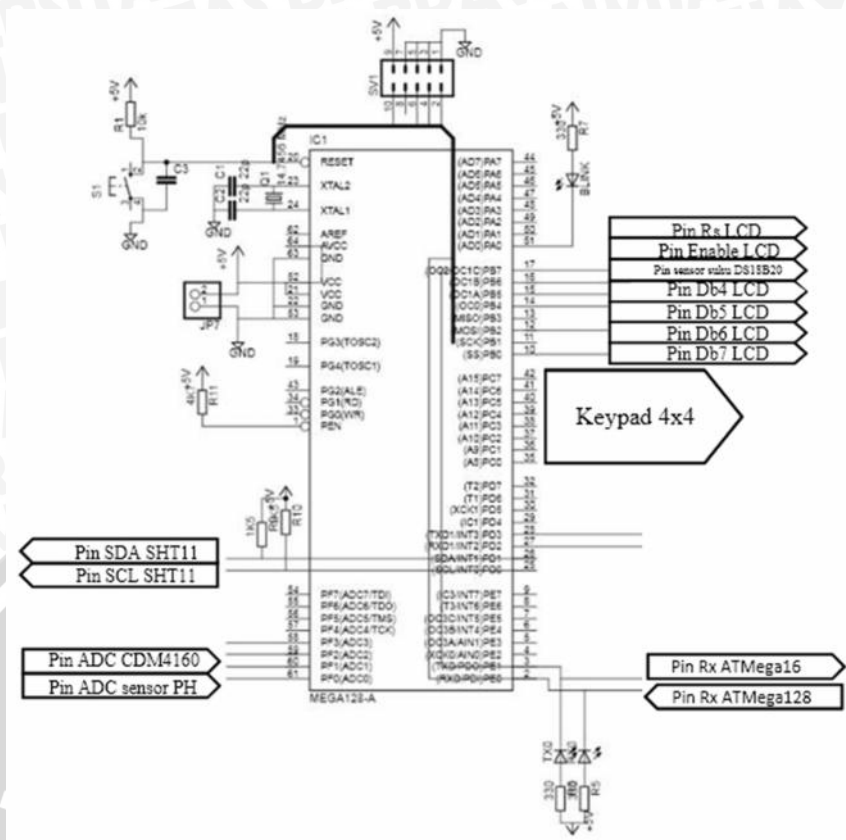
1. Sensor suhu menggunakan sensor suhu DS18B20 yang berfungsi untuk memeriksa suhu benda cair yang ada di dalam *Plan Live Cell Chamber*. Data dari sensor suhu DS18B20 ini dikirim ke mikrokontroler melalui PINB.4 mikrokontroler.
2. Sensor kelembaban menggunakan jenis SHT11 yang difungsikan untuk memeriksa nilai kelembaban yang ada dalam *Plan Live Cell Chamber*. Data dari sensor kelembaban SHT11 ini dikirim ke mikrokontroler melalui komunikasi dari pin I2C.
3. Sensor pH berfungsi untuk mengukur besar pH yang ada di dalam *Plan Live Cell Chamber*. Data dari sensor pH dikirim ke mikrokontroler melalui pin ADC.
4. Sensor CO₂ menggunakan modul sensor gas CDM4160, sensor CO₂ digunakan untuk mengukur kadar CO₂ didalam *Plan Live Cell Chamber*. data dari sensor ini dikirim melalui pin ADC mikrokontroler.
5. Mikrokontroler ATmega128 berfungsi untuk memproses data dari sensor pH, DS18B20, modul sensor gas CDM4160 dan sensor SHT11. Data hasil pemrosesan dikirim ke mikrokontroler ATmega16 menggunakan komunikasi USART untuk mengirimkan data ke mikrokontroler ATmega16.
6. Mikrokontroler ATmega16 digunakan sebagai media untuk mengeksekusi nilai suhu, kelembaban, pH, serta kadar CO₂ di dalam *Plan Live Cell Chamber* tetap sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

4.2 Perancangan Sistem Elektrik *Plan Live Cell Chamber*

Perancangan sistem elektrik pada *Plan Live Cell Chamber* terpusat dalam perancangan sistem minimum mikrokontroler ATmega128, berikut merupakan penjelasan tentang sistem minimum mikrokontroler ATmega128.

4.2.1 Perancangan Mikrokontroler ATmega128

Mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah ATmega128, yang berfungsi untuk mengolah data sensor suhu DS18B20, sensor kelembaban SHT11, sensor pH, dan modul CO₂. Rangkaian sistem minimum ATmega128 ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega128

Mikrokontroler ATmega128 memiliki 6 port input-output *bidirectional*, dan masing-masing port terdiri atas 8 pin yang dapat diprogram. Pada perancangan alat ini, port yang digunakan adalah PORTD dan PORTE sebagai jalur komunikasi data. Pembagian pin mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah:

1. PORTB

- PORTB.7 digunakan sebagai jalur Rs untuk LCD.
- PORTB.5 digunakan sebagai jalur Enable untuk LCD.
- PORTB.4 digunakan sebagai jalur data sensor suhu DS18B20
- PORTB.3 digunakan sebagai jalur Db4 untuk LCD.
- PORTB.2 digunakan sebagai jalur Db5 untuk LCD.
- PORTB.1 digunakan sebagai jalur Db6 untuk LCD.
- PORTB.0 digunakan sebagai jalur Db7 untuk LCD.

2. PORTC

- PORTC.0 – PORTC.7 digunakan sebagai jalur komunikasi dengan keypad 4x4

3. PORTD

- PORTD.0 digunakan sebagai jalur SCL untuk sensor SHT11.
- PORTD.1 digunakan sebagai jalur SDA untuk sensor SHT11.
- PORTD.2 digunakan sebagai jalur Rx dengan komputer melalui RS232
- PORTD.3 digunakan sebagai jalur Tx dengan komputer melalui RS232

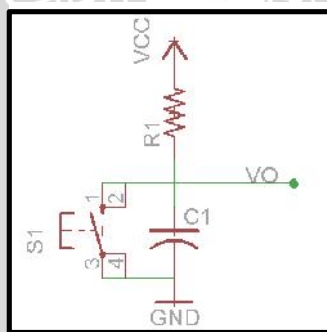
4. PORTE

- PORTE.0 digunakan sebagai jalur penerima data serial (Rx) dari ATmega16.
- PORTE.1 digunakan sebagai jalur pengirim data serial (Tx) kepada ATmega16.

5. PORTF

- PORTF.0 digunakan sebagai jalur ADC untuk rangkaian pengondisi sinyal dari sensor pH.
- PORTF.1 digunakan sebagai jalur ADC untuk sensor CO₂ CDM4160.

Dalam perancangan minimum sistem mikrokontroler diperlukan rangkaian *reset*, Rangkaian ini digunakan untuk me-*reset* mikrokontroler setiap kali catu daya dinyalakan. Ketika catu daya diaktifkan, rangkaian *reset* menahan logika rendah pada pin *reset* dengan jangka waktu yang ditentukan oleh lamanya pengisian muatan C yaitu membutuhkan waktu T_{out} pada saat tegangan pada Vcc mencapai tegangan V_{POT} (Voltage Power On Threshold). Tegangan logika rendah pada pin *reset* antara 0,1-0,9Vcc. Rangkaian *reset* ditunjukkan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Skema Rangkaian *Reset* Mikrokontroler

Dari rangkaian tersebut dapat diperoleh :

$$V_o = \frac{\frac{1}{sC_1}}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} V_{POT}$$

$$V_o = \frac{1}{sR_1C_1 + 1} V_{POT}$$

Dengan tegangan V_{POT} (Voltage Power On Threshold) sebesar 2,3 V dalam fungsi Laplace menjadi $\frac{2,3}{s}$ sehingga :

$$V_o = \frac{2,3}{s} \cdot \frac{1}{sR_1C_1 + 1}$$

$$V_o = 2,3 \frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)}$$

$$\frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} = \frac{X_1}{s} + \frac{X_2}{sR_1C_1 + 1}$$

$$X_1 = \left[\frac{1}{(sR_1C_1 + 1)} \right]_{s=0} = \left[\frac{1}{1} \right] = 1$$

$$X_2 = \left[\frac{1}{s} \right]_{s=-\frac{1}{R_1C_1}} = \left[\frac{1}{-\frac{1}{R_1C_1}} \right] = -R_1C_1$$

$$\mathcal{F}^{-1}[V_o] = 2,3 \mathcal{F}^{-1} \left[\frac{1}{s(sR_1C_1 + 1)} \right]$$

$$\mathcal{F}^{-1}[V_o] = 2,3 \mathcal{F}^{-1} \left[\frac{1}{s} - \frac{R_1C_1}{sR_1C_1 + 1} \right]$$

$$\mathcal{F}^{-1}[V_o] = 2,3 \mathcal{F}^{-1} \left[\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{1}{R_1C_1}} \right]$$

$$V_o = 2,3 (1 - e^{-\frac{t}{R_1C_1}})$$

$$\frac{V_o}{2,3} = 1 - e^{-\frac{t}{R_1C_1}} \Leftrightarrow 1 - \frac{V_o}{2,3} = e^{-\frac{t}{R_1C_1}}$$

$$\ln(1 - \frac{V_o}{2,3}) = \frac{-t}{R_1C_1}$$

$$t = -R_1 C_1 \ln \left(1 - \frac{V_o}{2,3}\right) \dots\dots\dots (4.1)$$

V_o adalah tegangan logika rendah pada pin *reset* (V_{RST}) sebesar $0,2V_{cc}$ maka $V_o = 0,2 \times 3,3 = 0,66V$.

$$t = -R_1 C_1 \ln \left(1 - \frac{0,66}{2,3}\right) = 0,3383 R_1 C_1$$

Misal ditentukan nilai kapasitor sebesar $100nF$ dan nilai resistor sebesar $4,7k\Omega$, maka waktu *reset* yang terbentuk dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut.

$$t = 0,3383 \times 4,7 \cdot 10^3 \times 1 \cdot 10^{-7} = 159\mu s$$

Berdasarkan perhitungan dapat diketahui waktu *reset* yang terbentuk adalah selama $159\mu s$. Nilai tersebut lebih besar dari batas minimal waktu *reset* sebesar $1,5\mu s$.

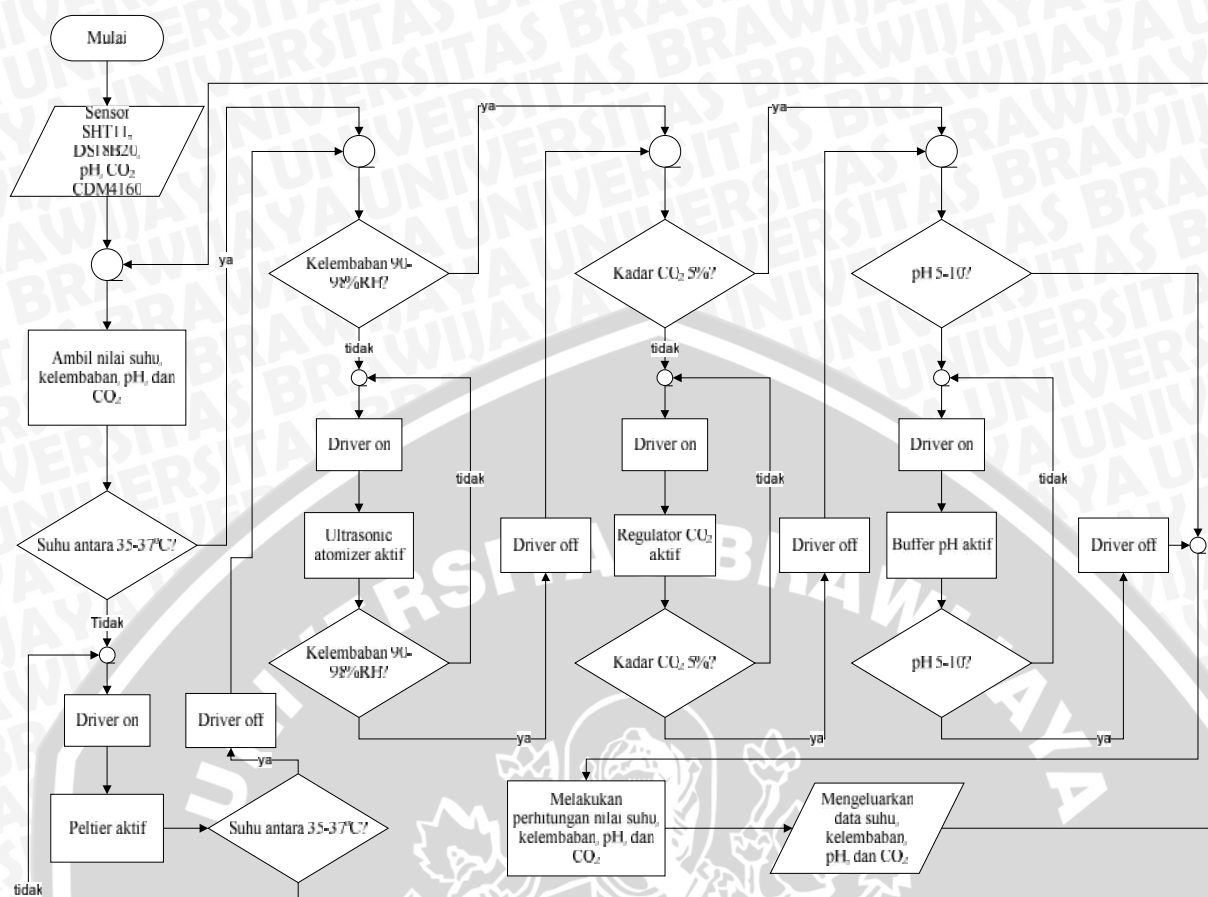
4.3 Perancangan Perangkat Lunak *Plan Live Cell Chamber*

Perancangan perangkat lunak terdiri atas perancangan perangkat lunak sistem keseluruhan, perancangan perangkat lunak sensor kelembaban SHT11, perancangan perangkat lunak sensor suhu DS18B20, perancangan perangkat lunak sensor pH, perancangan perangkat lunak sensor CO_2 , dan perancangan perangkat lunak driver aktuator.

4.3.1 Perancangan Perangkat Lunak Sistem Keseluruhan

Perangkat lunak keseluruhan berfungsi sebagai pengolah data untuk mengatur nilai suhu, kelembaban, kadar CO_2 , serta pH agar tetap sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan sistem *Plan Live Cell Chamber*. Secara umum, perangkat lunak sistem keseluruhan akan melakukan pengaturan suhu, pengaturan kelembaban, pengaturan kadar CO_2 , serta pengaturan pH dengan memberi perintah kepada aktuator agar kondisi yang telah ditentukan bisa terus terjaga.

Perangkat lunak keseluruhan akan mengeluarkan data nilai suhu, kelembaban, CO_2 dan pH sesuai dengan kebutuhan *Plan Live Cell Chamber*. Diagram alir perangkat lunak sistem keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

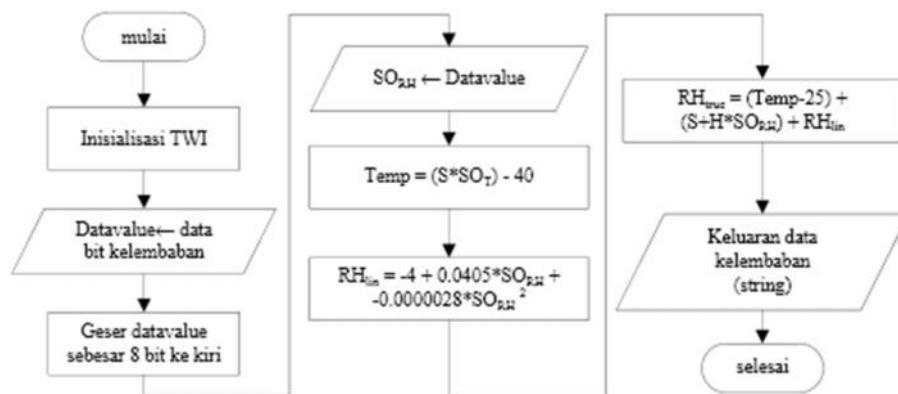


Gambar 4.4 Diagram Alir Keseluruhan Sistem

4.3.2 Perancangan Perangkat Lunak Sensor Kelembaban SHT11

Perancangan perangkat lunak sensor kelembaban SHT11 digunakan untuk mengakses data kelembaban hingga menghasilkan besar kelembaban di dalam chamber. Proses yang dilakukan dalam mengakses SHT11 ini melalui beberapa tahapan. Proses yang pertama adalah inisialisasi TWI, proses selanjutnya adalah memberi perintah ke sensor untuk mengambil data bit kelembaban. Bit kelembaban yang telah didapatkan akan diolah sehingga keluaran yang dihasilkan oleh sensor SHT11 dalam satuan derajat.

Lebih jelas tentang proses pengaksesan sensor SHT11 akan ditunjukkan dalam Gambar 4.5 diagram alir pengolahan data SHT11.

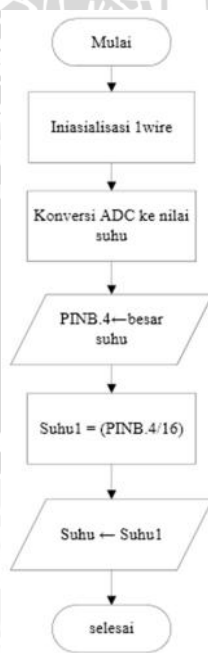


Gambar 4.5 Diagram Alir Pengolahan Data Kelembaban Sensor SHT11

4.3.3 Perancangan Perangkat Lunak Sensor Suhu DS18B20

Perancangan perangkat lunak sensor suhu DS18B20 ini digunakan untuk mengakses data keluaran sensor suhu DS18B20 melalui komunikasi 1wire. Dalam proses pengolahan sensor suhu ini yang pertama kali dilakukan adalah inisialisasi pin 1wire, kemudian dilakukan pengambilan data melalui PINB.4 mikrokontroler. Data yang dihasilkan oleh PINB.4 akan diolah kembali oleh mikrokontroler agar bisa didapatkan nilai suhu dalam satuan derajat.

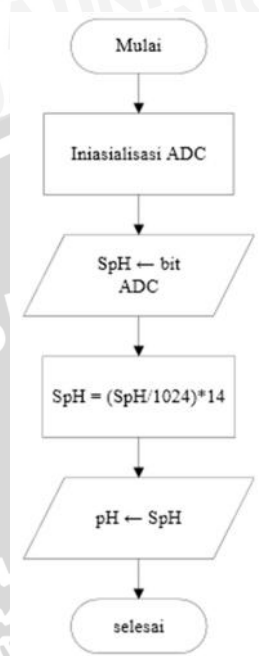
Diagram alir pengolahan data sensor suhu DS18B20 ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Diagram Alir Pengolahan Sensor Suhu DS18B20

4.3.4 Perancangan Perangkat Lunak Sensor pH

Perancangan perangkat lunak sensor pH digunakan untuk mengakses nilai pH hingga menghasilkan nilai pH yang sesuai di dalam chamber. Diagram alir pengolahan sensor pH ditunjukkan dalam Gambar 4.7.

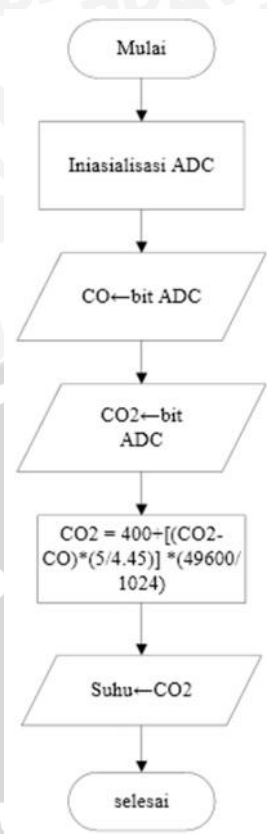


Gambar 4.7 Diagram Alir Pengolahan Data Sensor pH

Komunikasi sensor pH dilakukan melalui pin ADC sehingga proses pengolahan data sensor pH ini dimulai dengan inisialisasi pin ADC yang digunakan. Setelah pin selesai diinisialisasi, mikrokontroler akan melakukan pengambilan besar bit yang terbaca dalam pin ADC, data bit ini kemudian dimasukkan ke dalam variabel pH. Data ini kemudian dikalibrasi sehingga menghasilkan keluaran berupa nilai pH yang terukur oleh sensor.

4.3.5 Perancangan Perangkat Lunak CO₂ CDM4160

Perancangan perangkat lunak sensor CO₂ CDM4160 digunakan untuk mengakses data CO₂ hingga menghasilkan kadar CO₂ yang sesuai di dalam chamber. Diagram alir pengolahan data CDM4160 ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Diagram alir pengolahan data CO₂ CDM4160

Proses yang terjadi dalam pengolahan data CO₂ CDM4160 dimulai dengan inisialisasi ADC, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data *byte*CO₂ yang disimpan di dalam variabel C. Variabel C ini digunakan sebagai kondisi awal sensor CO₂, setelah didapatkan nilai variabel C proses akan dilanjutkan dengan pengambilan data *byte* CO₂ yang digunakan sebagai data yang akan diolah oleh mikrokontroler. Setelah pengambilan data *byte* yang kedua sudah selesai maka akan dilakukan proses kalibrasi sensor sehingga didapatkan nilai dalam satuan ppm, karena data yang diinginkan dalam satuan persen (%), maka data tersebut diolah lagi sehingga menghasilkan besar CO₂ dalam satuan persen (%).

4.4 Perancangan Komunikasi Data

Komunikasi data yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan tiga komunikasi data, ketiga komunikasi yang digunakan antara lain adalah komunikasi menggunakan serial UART, *two wire*, dan *one wire*.

4.4.1 Serial UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

Serial UART adalah protokol komunikasi yang umum digunakan dalam pengiriman data serial antara device satu dengan yang lainnya. Dalam penelitian ini UART digunakan dalam komunikasi antar mikrokontroler. Protokol pengiriman data

dengan menggunakan UART dimulai dengan mengatur *Baudrate* dengan mengakses UBRR (*USART Baud Rate Register*) mikrokontroler ATmega128 dan ATmega16 ini dilakukan pada saat kondisi *idle*. Setelah UART aktif data di taruh dalam register UDR (*USART Data Register*) kemudian data yang akan dikirim dimuat dalam *buffer transmitted*, data yang berada dalam *buffer transmitted* akan dipindah kedalam *shift register* ketika *shift register* telah siap mengirim *frame* baru. *Shift register* akan diisi data baru pada kondisi *idle*. Setelah data dikirim, maka data akan dicuplik dan dipindah ke *receive shift register* sampai ada sinyal untuk *stop* bit. Data yang berhasil dikirim akan dipindah dari *shift register* ke *receive buffer* dan dapat dibaca didalam register UDR.

4.4.2 TwoWire

Two wire merupakan suatu komunikasi yang memiliki jalur dua arah (SDA dan SCL) yang digunakan untuk mensinkronkan *master* dengan *slave*. Dalam penelitian ini perangkat keras yang menggunakan komunikasi *two wire* adalah sensor kelembaban SHT11 yang digunakan untuk mengukur kelembaban dalam *live cell chamber*. Protokol pengiriman data melalui *two wire* dimulai dengan mengaktifkan SCK dan menonaktifkan jalur data SDA kemudian menonaktifkan SCK, ini adalah suatu kondisi awal pengiriman data melalui *two wire*. Setelah SCK dan SDA akan di set untuk memasukkan data dalam jalur TWI, data yang ada di jalur TWI akan digeser keluar untuk dikonfigurasi menjadi *input* kemudian diberi clock. Data yang telah digeser tadi menunggu bit yang ada di PIN data selesai di reset, setelah selesai di reset data tersebut akan digeser masuk dan diberi alamat oleh TWI register alamat. Ketika data selesai dimasukkan ke register alamat PIN data dikonfigurasi menjadi keluaran, agar data yang sudah masuk ke register bisa di keluarkan. Data yang telah dikeluarkan dari register alamat dimasukkan ke register data TWI untuk digeser sebesar 8 bit ke kiri kemudian data disimpan di register data.

4.4.3 1-Wire

1-wire adalah suatu protocol komunikasi data yang menggunakan satu jalur data dan satu *ground*. Dalam penelitian ini 1-wire digunakan untuk komunikasi data sensor suhu DS18B20, sensor ini hanya memiliki satu jalur data dan satu *ground*. Protokol pengiriman data dengan menggunakan 1-wire dimulai dengan inisialisasi sekuen, pada saat inisialisasi sekuen bus master transmits mereset pulsa 1-wire dengan kondisi *low* minimal 480 μ s. Setelah inisialisasi sekuen dilakukan 1-

wire memulai proses *write time*, ada 2 jenis *write time* yaitu “*write 1*” untuk menulis logika 1 dan “*write 0*” untuk menulis logika 0. Untuk menghasilkan logika 1 setelah memberikan kondisi *low*, *bus master* harus mengaktifkan 1-wirebus sekitar 15 μ s sehingga 50k Ω *pull up resistor* bisa membuat 1-wire memiliki kondisi *high*. Sedangkan untuk memberikan logika 0 setelah kondisi *low*, *bus master* harus melanjutkan 1-wire bus berada dalam kondisi *low* selama 60 μ s. setelah data selesai ditulis, data akan dibaca oleh 1-wire bus. Proses pembacaan dilakukan selama 60 μ s dengan waktu jeda minimal 1 μ s tiap pembacaan. Pada saat akan memulai pembacaan 1-wire bus akan diinisialisasi oleh perangkat utama selama 1 μ s, setelah selesai perangkat utama akan memulai untuk mentransmisikan logika 0 atau 1. Ketika hasil transmisi berlogika 0, maka DS18B20 akan melepas bus di ujung *time slot* dan bus akan ditarik kembali ke kondisi *high idle* oleh *pull up resistor*.



BAB V

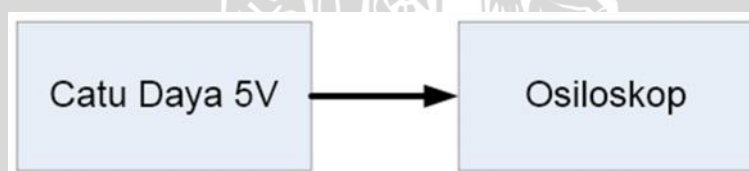
PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dalam bab ini membahas tentang pengujian dan analisis alat yang telah dirancang dan direalisasikan. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap blok untuk mengamati apakah tiap blok sudah sesuai dengan alat yang dirancang. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian secara keseluruhan untuk mengamati apakah keseluruhan sistem telah sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Catu Daya

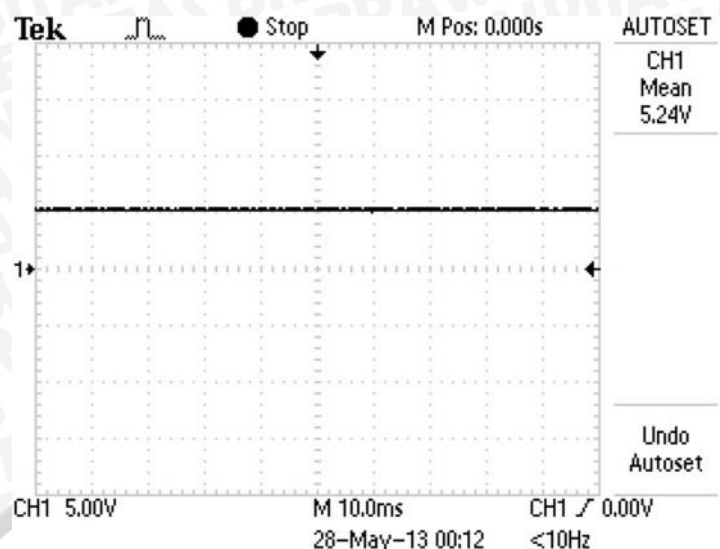
5.1.1 Pengujian Catu Daya 5 V

Pengujian rangkaian catu daya bertujuan untuk mengetahui kesesuaian tegangan keluaran dari catu daya. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan masukan dan keluaran dari rangkaian catu daya dengan osiloskop untuk mengetahui nilai tegangannya. Diagram blok pengujian rangkaian catu daya 5V ditunjukkan Gambar 5.1.



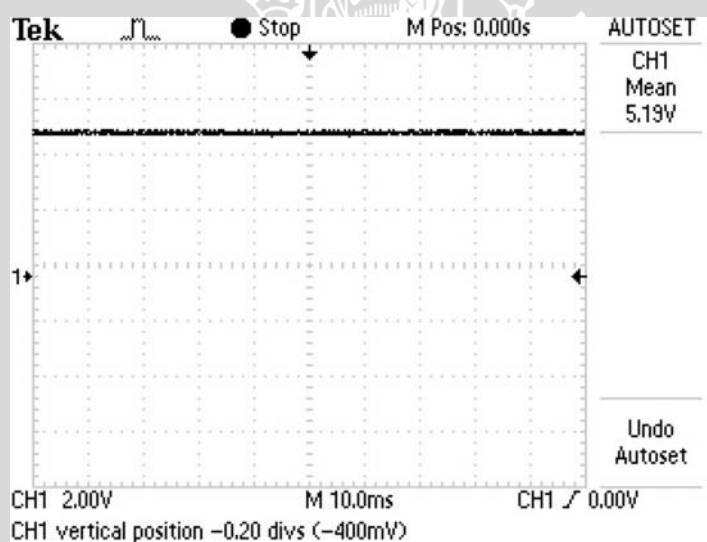
Gambar 5.1 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Catu Daya 5V

Pengujian rangkaian catu daya 5V dilakukan dengan menggunakan osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B. *Channel 1* osiloskop dihubungkan dengan keluaran rangkaian *Switch Mode Power Supply*. Hasil pengujian tegangan masukan dan tegangan keluaran pada rangkaian catu daya 5V ditunjukkan dalam Gambar 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.2 Tegangan Keluaran Rangkaian Catu Daya 5V

Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan keluaran sebesar 5,24V. Nilai tersebut adalah nilai tegangan tanpa beban, yang berarti rangkaian catu daya 5V dapat menghasilkan tegangan maksimal (tanpa beban) sebesar 5,24V.



Gambar 5.3 Tegangan Keluaran Rangkaian Catu Daya 5V

Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan keluaran sebesar 5,19V. Nilai tersebut adalah nilai tegangan dengan beban mikrokontroler, yang berarti rangkaian catu daya 5V dapat menghasilkan tegangan maksimal (dengan beban) sebesar 5,19V.

Secara umum hasil dari pengujian catu daya ditunjukkan dalam Tabel 5.1

Pengujian	Tegangan (V)
Tanpa beban	5.24
Berbeban	5.19

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Catu Daya 5V

Dari hasil pengujian catu daya tersebut, dapat disimpulkan bahwa catu daya yang digunakan dapat diaplikasikan ke mikrokontroler ATmega128 karena sumber yang digunakan ATmega128 antara 4.5-5.5V.

5.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor

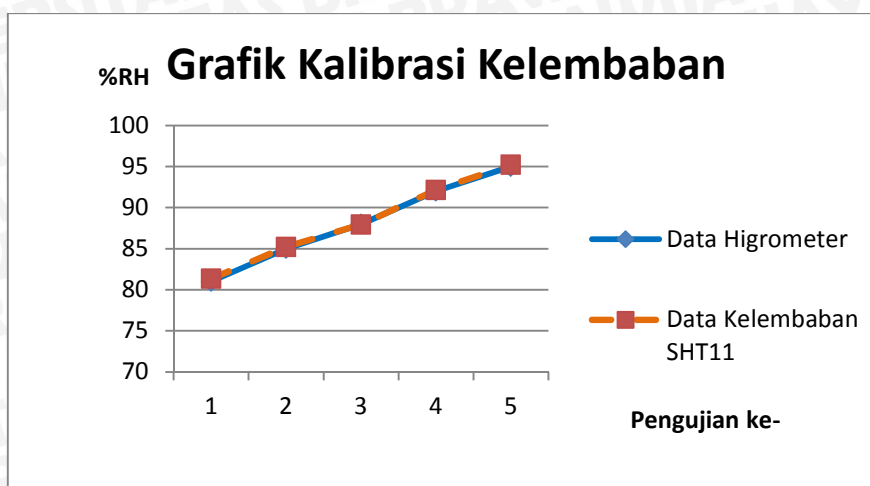
Pengujian dan kalibrasi sensor ini bertujuan untuk mengetahui besar penyimpangan yang terjadi pada masing-masing sensor. Pengujian dan kalibrasi sensor ini terdiri atas pengujian dan kalibrasi sensor suhu, sensor pH, sensor kelembaban, dan sensor CO₂.

Pengujian sensor SHT11 dilakukan dengan cara memberikan *ultrasonic atomizer* ke dalam cell chamber, cell chamber yang telah diberi *ultrasonic atomizer* di ukur dengan menggunakan SHT11 dan higrometer. Hal ini dilakukan untuk membandingkan nilai pembacaan dari sensor SHT11. Pengujian dan kalibrasi sensor kelembaban ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian dan Kalibrasi sensor SHT11 dengan Higrometer

No.	Data Higrometer (%)	Data Sensor Kelembaban (%)	Error (%)
1	81	81,33	0,4
2	85	85,21	0,24
3	88	87,94	0,06
4	92	92,15	0,38
5	95	95,23	0,45
Rata-rata kesalahan			0,306

Dari Tabel 5.2 hasil pengukuran kelembaban oleh sensor SHT11 menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan pengukuran kelembaban oleh sensor SHT11 sebesar 0,306%. Nilai *error* ini muncul dikarenakan pembacaan yang tidak tepat pada higrometer untuk skala yang lebih kecil serta sensitivitas sensor SHT11 yang mampu mendeteksi perubahan kondisi dengan cepat. Dari Tabel 5.2 dapat ditarik grafik penyimpangan sensor, grafik tersebut ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



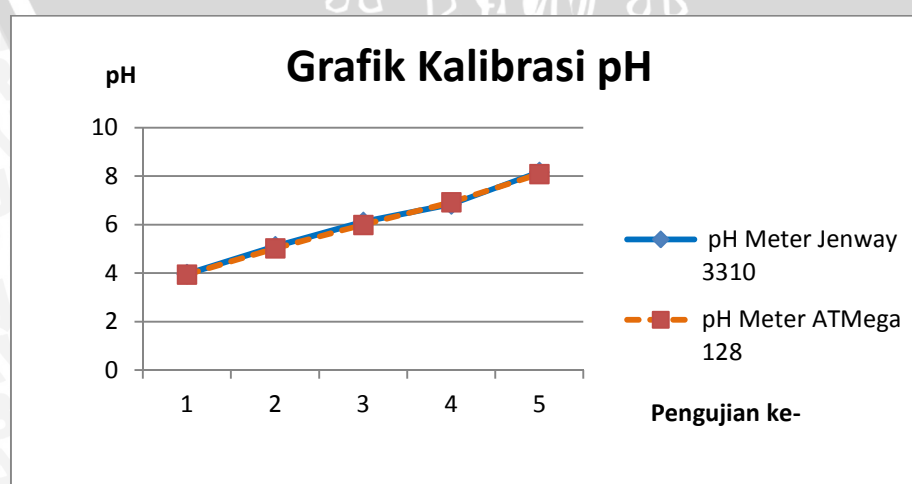
Gambar 5.4 Grafik Penyimpangan Sensor Kelembaban SHT11

Pengujian sensor pH dilakukan dengan memasukkan sensor pH ke dalam buffer pH yang telah diketahui besar nilai pH-nya dari alat ukur pH Meter Jenway3310 yang telah terkalibrasi. Pengujian dan kalibrasi sensor pH ditunjukkan dalam Tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil Pengujian dan Kalibrasi Sensor pH dengan pH Meter Jenway3310

pH	pH Meter Jenway 3310	pH Meter Tampilan	Error (%)
4	3,96	3,94	0,5
5	5,1	5,02	1,57
6	6,11	5,99	1,96
7	6,84	6,92	1,73
8	8,17	8,09	0,98
Rata-rata kesalahan			1,234

Dari hasil kalibrasi pH berdasar Tabel 5.3 diketahui bahwa rata-rata kesalahan pengukuran pH sebesar 1,234%. *Error* ini disebabkan oleh sensitivitas sensor yang kurang, serta kecepatan baca sensor pH yang lebih lambat dari pH meter kalibrator.



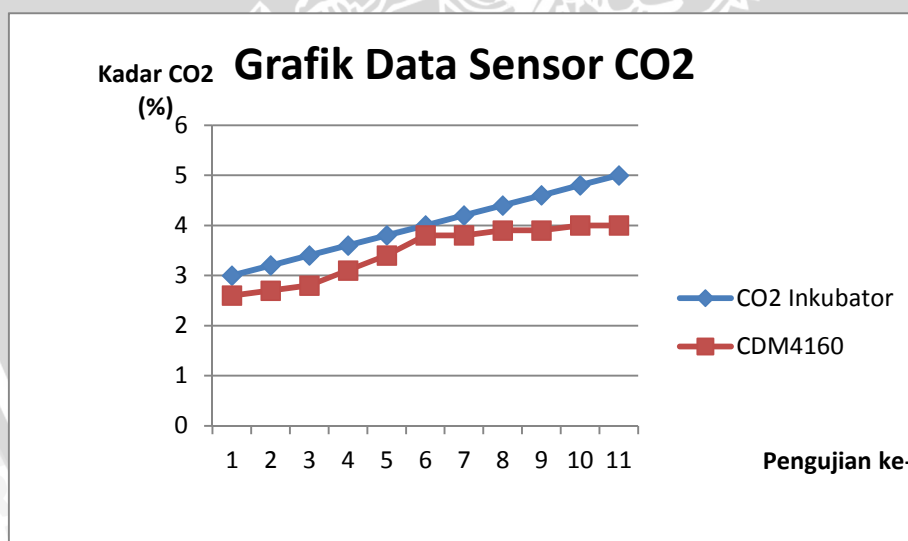
Gambar 5.5 Grafik Penyimpangan Sensor pH

Pengujian modul CO₂ CDM4160 dilakukan dengan memasukkan modul CDM4160 ke dalam regulator CO₂ yang telah dikonfigurasi besar persen CO₂ yang ada dalam regulator. Data pengujian sensor CO₂ CDM4160 ditunjukkan dalam Tabel 5.4

Tabel 5.4 Pengujian Sensor CO₂ CDM4160

No.	CO ₂ inkubator	CO ₂ Tampilan	Error
	Innova-CO170 (%)	(%)	(%)
1	3,0	2,6	13,33
2	3,2	2,7	15,63
3	3,4	2,8	17,65
4	3,6	3,1	13,89
5	3,8	3,4	10,53
6	4,0	3,8	5
7	4,2	3,8	9,52
8	4,4	3,9	11,36
9	4,6	3,9	15,22
10	4,8	4	16,67
11	5,0	4	20
Rata-rata kesalahan			13,53

Dari Tabel 5.4 dapat ditarik sebuah grafik pengujian sensor CO₂ CDM4160.



Gambar 5.6 Grafik Data Sensor CO₂ CDM4160

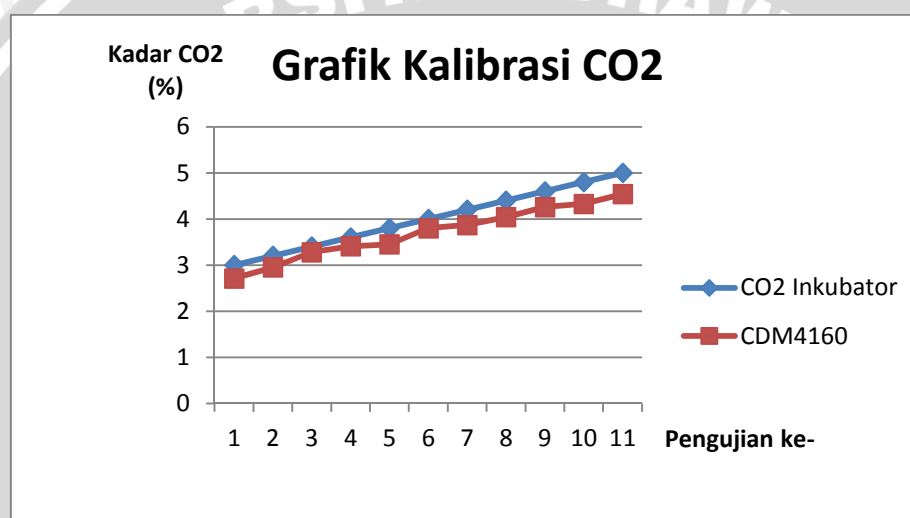
Pengujian dan Kalibrasi sensor CO₂ ditunjukkan dalam Tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Pengujian dan Kalibrasi Sensor CO₂ dengan CO₂ Innova

No.	CO ₂ inkubator	CO ₂ Tampilan	Error
	Innova-CO170 (%)	(%)	(%)
1	3,0	2,71	9,67
2	3,2	2,95	7,81
3	3,4	3,28	3,53

4	3,6	3,41	5,28
5	3,8	3,45	9,21
6	4,0	3,8	5
7	4,2	3,87	7,86
8	4,4	4,04	8,18
9	4,6	4,26	7,39
10	4,8	4,33	9,79
11	5,0	4,54	9,2
Rata-rata kesalahan			7,54

Dari hasil kalibrasi CO₂ berdasar Tabel 5.5 diketahui bahwa rata-rata kesalahan pengukuran CO₂ sebesar 7,54%, *error* ini masih sesuai dengan spesifikasi sensor yang memiliki kesalahan sebesar 20%. Kesalahan ini terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi antara sensor CO₂ TGS4160 dengan modul CDM4160.

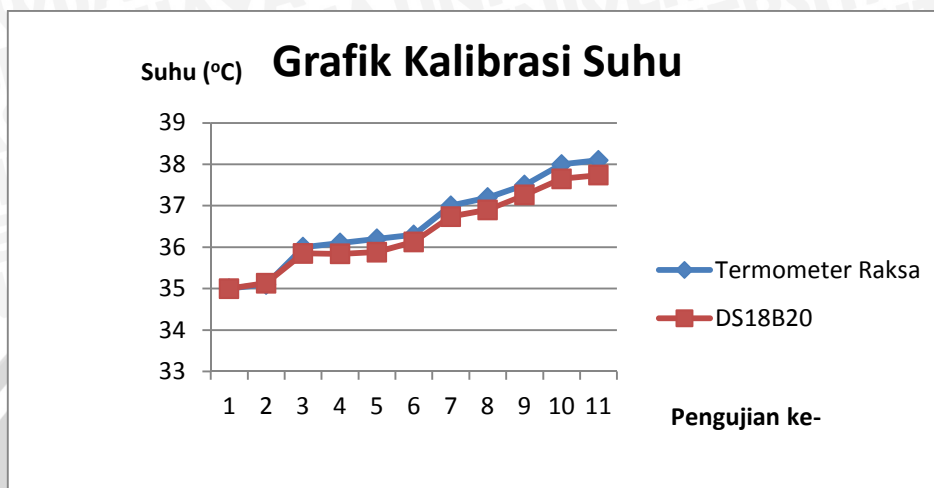


Gambar 5.7 Grafik Penyimpangan Sensor CO₂ CDM4160
Pengujian dan kalibrasi sensor suhu DS18B20 ditunjukkan dalam Tabel 5.6

Tabel 5.6 Hasil Pengujian dan Kalibrasi DS18B20 dengan Termometer Raksa

No.	Termometer Raksa (°C)	Suhu Tampilan (°C)	Error (%)
1	35	35	0
2	35,1	35,13	0,09
3	36	35,85	0,42
4	36,1	35,84	0,72
5	36,2	35,78	1,16
6	36,3	36,13	0,47
7	37	36,74	0,7
8	37,2	36,9	0,81
9	37,5	37,26	0,64
10	38	37,65	0,92
11	38,1	37,74	0,94
Rata-rata kesalahan			0,59

Dari hasil kalibrasi suhu berdasar Tabel 5.5 diketahui bahwa rata-rata kesalahan pengukuran suhu sebesar 0,59%, *error* ini lebih kecil dari toleransi *error* sensor sebesar 1,43%. *Error* yang terjadi disebabkan karena adanya kesalahan pembacaan dari termometer raksa.

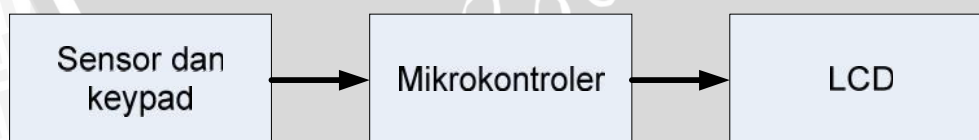


Gambar 5.8 Grafik Penyimpangan Sensor Suhu DS18B20

5.3 Pengujian Mikrokontroler ATmega128

Pengujian mikrokontroler ini bertujuan untuk mengetahui apakah mikrokontroler bekerja dengan baik dalam memproses data dari sensor dan *keypad* melalui jalur-jalur yang sesuai dengan sensor yang digunakan.

Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan mikrokontroler dengan semua sensor yang digunakan dalam *Plan Live Cell Chamber*. LCD digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil dari pengolahan dan kalibrasi data sensor. Diagram blok pengujian mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Diagram Blok Pengujian Mikrokontroler

Hasil pengujian mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 5.10.



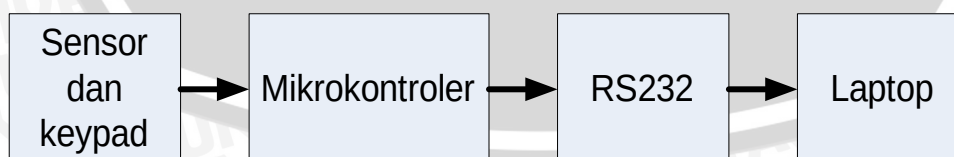
Gambar 5.10Tampilan Pengujian Mikrokontroler

Dari pengujian mikrokontroler yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler ATmega128 dapat bekerja dengan baik dalam memproses dan mengkalibrasi data sensor dan keypad yang digunakan.

5.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui *error* yang terjadi ketika memberikan perintah kepada aktuator dalam mengkondisikan data yang sesuai dengan setpoint dari sistem yang telah dibuat.

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan pada semua sensor dengan membandingkan nilai yang terbaca oleh sensor dengan setpoint yang ditentukan, kemudian mengirimkan perintah melalui jalur Tx. Perintah yang dikirimkan akan dimonitoring dengan laptop untuk mengetahui apakah data yang diterima sudah sesuai dengan data yang dikirim. Diagram blok pengujian keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem

Hasil pengujian sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 5.7, 5.8, 5.9 dan 5.10.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kontrol Suhu dengan *Setpoint* 37°C

No	Data Sensor (°C)	Perintah yang Dikirim	Data keluaran (°C)
1	24,31	S+	26,07
2	27,07	S+	29,84
3	29,84	S+	31,93
4	31,93	S+	34,07
5	34,07	S+	37,40
6	37,40	S-	37,05
7	37,05	S-	36,73
8	36,73	S+	37,34

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kontrol Kelembaban dengan *Setpoint* 95%

No	Data Terbaca (%)	Perintah yang Dikirim	Data Keluaran (%)
1	70,12	K+	74,92
2	74,92	K+	84,94
3	84,94	K+	87,38
4	87,38	K+	93,26
5	93,26	K+	96,42
6	96,42	K-	94,33
7	94,33	K+	95,92
8	95,92	K-	94,18

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kontrol CO₂ dengan *Setpoint* 3,9%

No	Data Terbaca (%)	Perintah yang Dikirim	Data Keluaran (%)
1	2,63	C+	2,87
2	2,87	C+	2,98
3	2,98	C+	3,24
4	3,24	C+	3,49
5	3,49	C+	3,71
6	3,71	C+	3,96
7	3,96	C-	3,79
8	3,79	C+	3,92

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kontrol pH dengan *Setpoint* 7,5

No	Data Terbaca	Data yang Dikirim	Data Keluaran
1	7.13	P+	7,27
2	7.27	P+	7,41
3	7.41	P+	7,52
4	7.52	P-	7,38
5	7.38	P+	7,58
6	7.58	P-	7,47
7	7.47	P+	7,53
8	7.53	P-	7,48

Berdasarkan data hasil pengujian, dapat diketahui bahwa data yang dikirim oleh kontroler dapat diterima dengan baik oleh aktuator. Data yang dikirim pada mikrokontroler aktuator suhu, CO₂, dan kelembaban berupa karakter yang diikuti tanda plus(+) atau minus(-) untuk menentukan aktuator *ON* atau *OFF*. Sedangkan pada aktuator pH, data dikirim dalam bentuk selisih setpoint dengan data terbaca untuk menentukan besarnya PWM yang dibutuhkan.



BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

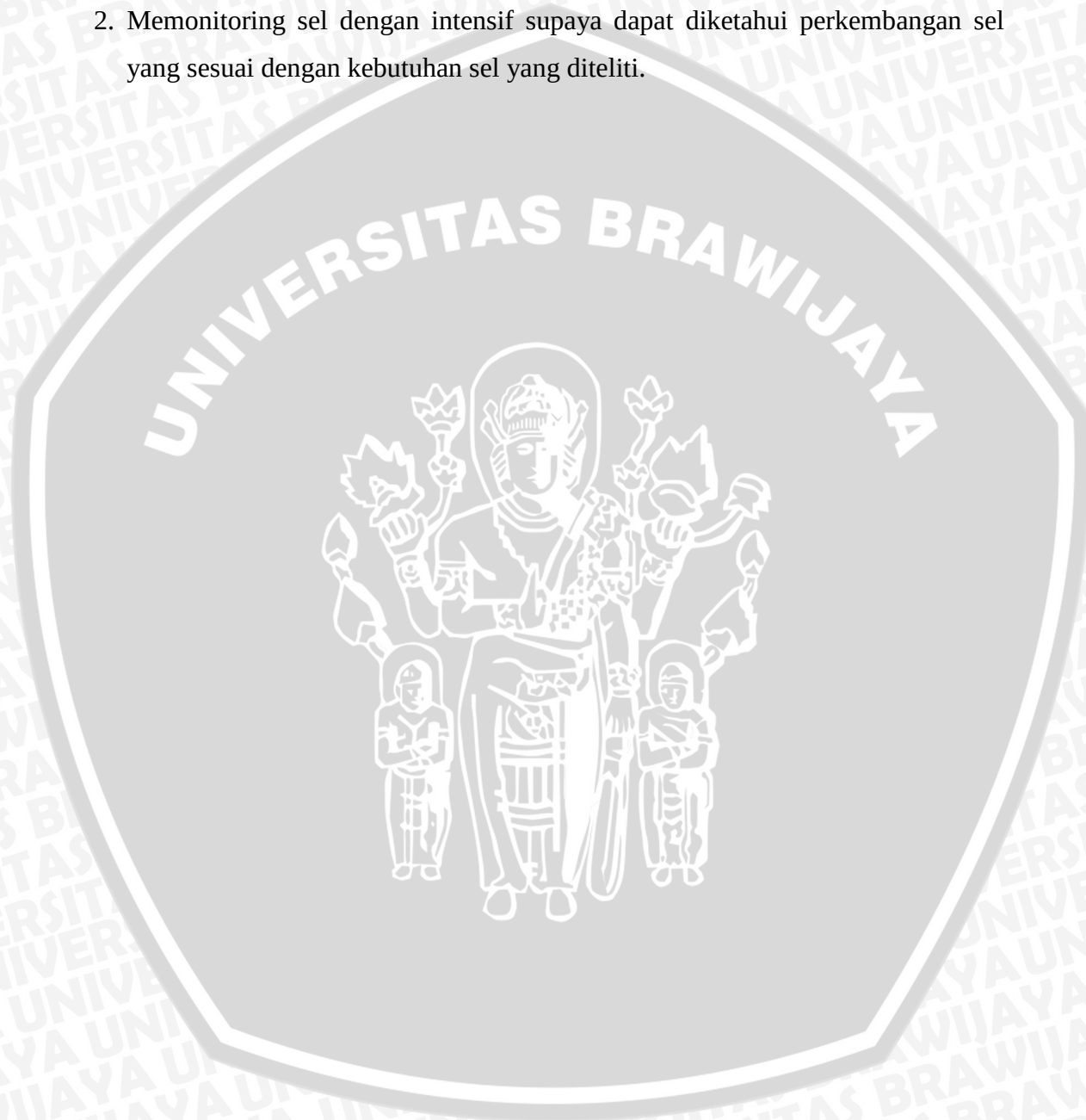
Berdasarkan pengujian dan analisis pengaturan dan pengolahan data pada *plan live cell chamber* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler ATmega128 dapat membaca data sensor suhu, kelembaban, pH dan CO₂, serta mampu mengolah data sensor-sensor yang ada sehingga:
 - Keluaran yang dihasilkan oleh sensor suhu DS18B20 memiliki *error* rata-rata sebesar 0,67% dari *error* yang diijinkan sensor sebesar 1,43%.
 - Keluaran modul CO₂ CDM4160 menunjukkan *error* sebesar 9,2% pada pengukuran maksimal dari toleransi sebesar 20%.
 - Keluaran sensor SHT11 melakukan *error* rata-rata pengukuran sebesar $\pm 0,306\%$ dari toleransi sensor sebesar $\pm 3\%$.
 - Keluaran sensor pH memiliki *error* rata-rata sebesar 1,234%.
2. Mikrokontroler ATmega128 bisa memberikan perintah ke mikrokontroler ATmega16 dengan baik, sehingga aktuator bisa mengeksekusi perintah.
 - Pada saat diberi perintah menaikkan suhu, terjadi kenaikan suhu dari 24,31° menjadi 37,40°C, dan terdapat perubahan suhu dari 37,40° menjadi 36,73°C ketika diberi perintah untuk menurunkan suhu.
 - Terjadi kenaikan kelembaban dari 70,12% menjadi 96,42% pada saat ada perintah untuk menaikkan, dan dari 96,42% menjadi 94,18% ketika perintah untuk menurunkan kelembaban.
 - Adanya kenaikan pH dari 7,13 menjadi 7,52 dan penurunan pH dari 7,52 menjadi 7,38.
 - Terdapat kenaikan CO₂ dari 2,63% menjadi 3,96% dan penurunan pH dari 3,96% menjadi 3,79%.

6.2 Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan Penelitian terhadap sel terlebih dahulu sebelum menentukan spesifikasi sistem yang akan dibuat.
2. Memonitoring sel dengan intensif supaya dapat diketahui perkembangan sel yang sesuai dengan kebutuhan sel yang diteliti.



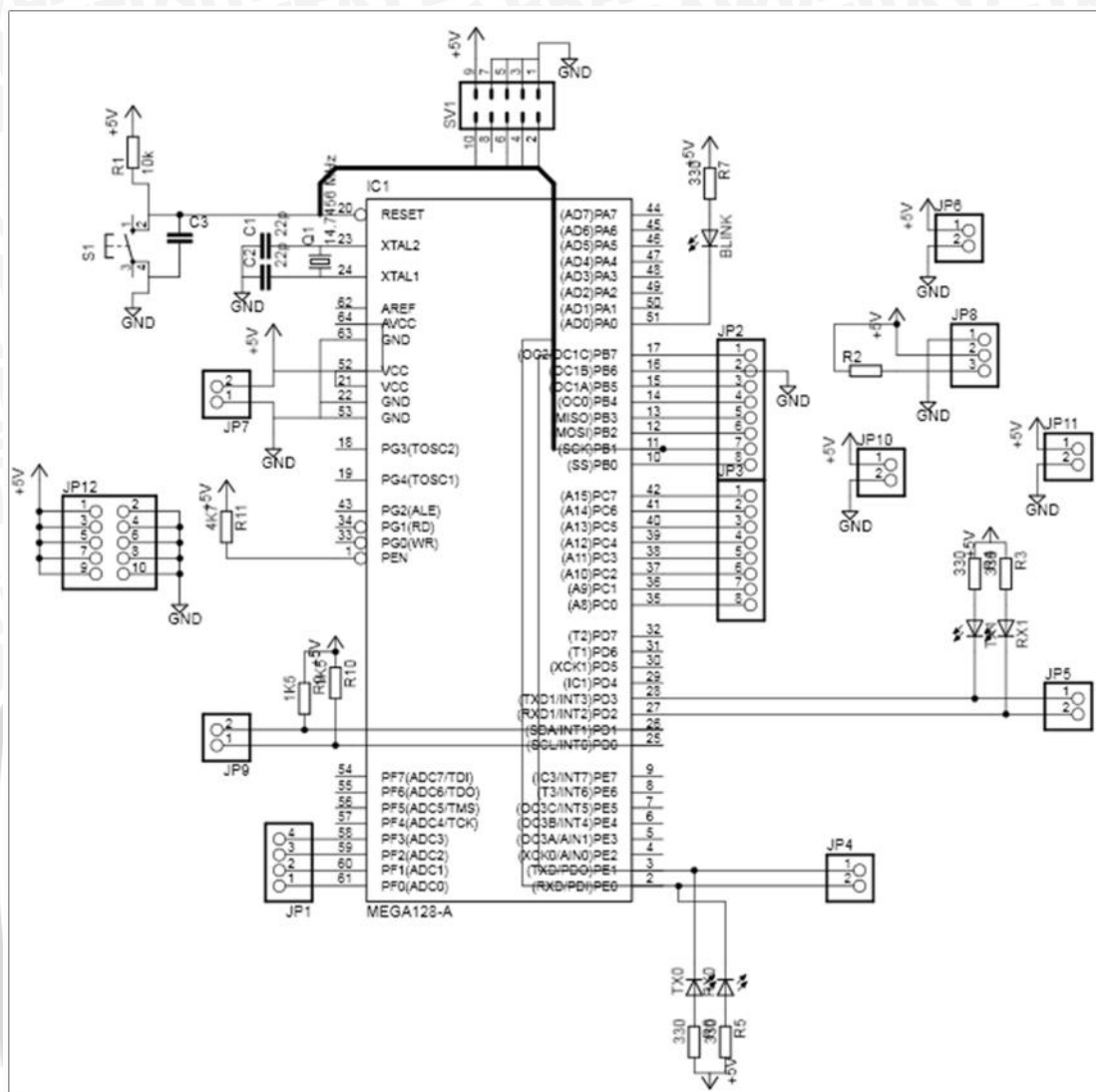
DAFTAR PUSTAKA

- Atmel. 2010. *8-bit AVR Microcontroller with 128Kbyte in System Programmable Flash*.
<http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>. Diakses tanggal 25 Desember 2012
- CellASIC. 2011. *Dynamic Live Cell Imaging Chamber*, CellASIC Corporation. California.
- Cooper, William David. 1999. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Penerbit Erlangga. Jakarta
- Fahmizal. 2010. Akses Sensor Suhu dan Kelembaban SHT11 berbasis Mikrokontroler.
<http://fahmizaleeits.wordpress.com/2010/08/29/akses.sensor.suhu.dan.kelembaban.sht11.berbasis.mikrokontroler/> diakses tanggal 4 oktober 2012
- Hanapi, Gunawan (penerjemah) Malvino A. P. 1996 *Prinsip-Prinsip Elektronika*, Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Laros-edu. 2007. *Komunikasi Serial Mikrokontroler dengan PC (Komputer)*.
<http://www.ibnubudir.files.wordpress.com/2008/08/komunikasi-serial-mikrokontroler-dengan-pc.pdf>. Diakses tanggal 4 September 2012.
- Maxim Integrated. 2008. *DS18B20 Programmable Resolution 1-wire Digital Thermometer*
<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2812>.
 Diakses tanggal 24 April 2011
- Rifai, Achmad. 2008. Borland Delphi 7 [Http://www.downloads.ziddu.com/downloadfile/7283426/DelphiPart1.pdf.html](http://www.downloads.ziddu.com/downloadfile/7283426/DelphiPart1.pdf.html). Diakses tanggal 02 September 2012.
- Sensirion, 2007. SHT 11 Datasheets and Info. www.sensirion.com/sensors. diakses pada 7/09/2012 jam 01:00 GMT.
- Sutrisno. 1987. *Elektronika, Teori dan Penerapannya*. Bandung: ITB
- Sudjadi. 2005. *Teori dan Aplikasi Microcontroller*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Wahana Komputer. 2009. *Aplikasi Cerdas Menggunakan DELPHI*. Yogyakarta: Andi.

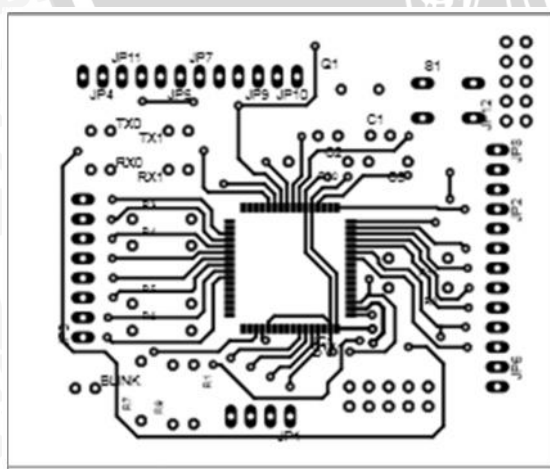
LAMPIRAN 1

SKEMA RANGKAIAN

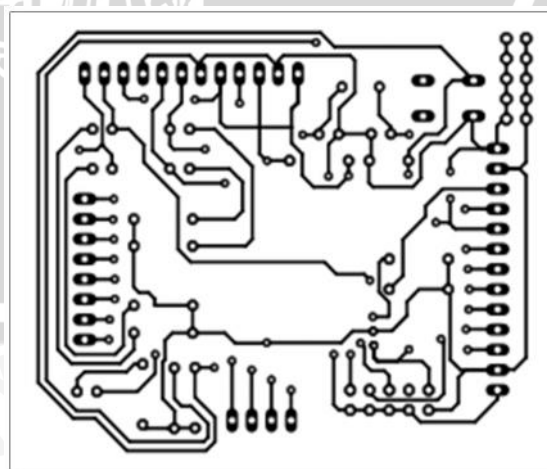




Skematik Rangkaian Mainboard Menggunakan Software EAGLE 5.11



PCB (Top View)



PCB (Bottom View)

LAMPIRAN 2

LISTING PROGRAM MIKROKONTROLER



```

'-----
'name           : Pengaturan dan Pengolahan Data pada Plan Live Cell Chamber
'copyright      : (c) 2013, Electrical Engineering University of Brawijaya
'author         : Nur Awalludin Z (0810633068)
'purpose        : Skripsi - Microcontrller Program
'micro          : Mega128
'compiler       : BascomAVR
'-----

$regfile= "m128def.dat"
$crystal= 16000000
$hwstack= 32
$swstack= 10
$framesize= 40
$baud= 9600
$baud1= 9600

Config Com1 = Dummy , Synchron = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 ,
Clockpol = 0
Config Com2 = Dummy , Synchron = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 ,
Clockpol = 0

Config Lcdpin = Pin , Db4 = PORTB.3 , Db5 = PORTB.2 , Db6 = PORTB.1 , Db7 = PORTB.0 , E
= PORTB.5 , Rs = PORTB.7
'pin-pin lcd yang digunakan
Config Lcd = 20 * 4

Config Kbd = PORTC

Config 1wire = PORTB.4

Deflcdchar 1 , 28 , 20 , 28 , 32 , 32 , 32 , 32 , 32
'membuat karakter derajat

Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc

Dim Ph As Word
Dim Phs As Single
Dim Channel_ph As Byte
Dim Channel_co2 As Byte
Dim Co As Word
Dim C As Word
Dim Carbon As Single
Dim Co1 As Single
Dim Co2 As Single
Dim Ar As Integer ,
Dim I As Byte
Dim Suhu_ds As Single
Dim Dataword As Word
Dim Command As Byte
Dim Calc As Single
Dim Calc2 As Single
Dim Rhlinear As Single
Dim Rhlintemp As Single
Dim Tempc As Single
Dim Ctr As Byte
Dim X As Word
Dim Y As Single
Dim Z As Single
Dim Suhu As Single
Dim Kelembaban As Single
Dim Btn As Byte
Dim Tombol As Byte
Dim Setpoint_ratusan As Integer
Dim Setpoint_puluhan As Byte
Dim Setpoint_satuan As Byte
Dim Suhu_sp As Single
Dim Ph_sp As Single
Dim Rh_sp As Single
Dim Co2_sp As Single

```


Dim P As Single

```
Const C1 = -4
Const C2 = 0.0405
Const C3 = -0.0000028
Const S = .01
Const H = .00008
```

```
Sck AliasPORTD.0
'sck output pada portd.0
Dataout AliasPORTD.1
'ketika memanggil dataout portd.1 menjadi output
Datain AliasPIND.1
'ketika memanggil datain portd.1 menjadi input
```

```
Declare Sub Kirim()
Declare Sub Tampil
Declare Sub Data_suhu
Declare Sub Keypad
Declare Sub Entry
Declare Sub Aktuator
```

```
DDRD = &B11111111
'port d sebagai output
ConfigPIND.0 =Output
ConfigPIND.1 =Output
Wait 1
Set Dataout
For Ctr = 1 To 12
Set Sck
Waitus 2
Reset Sck
Waitus 2
Next Ctr
```

```
ConfigSingle= Scientific , Digits = 2
```

```
Start Adc
Channel_ph = 0
Channel_co2 = 1
```

```
C =Getadc(channel_co2)
Carbon = C
```

```
Tampilan_awal:
Cls
Cursor Off
Locate 1 , 5
Lcd "CELL CHAMBER"
Locate2 , 4
Lcd "CONFIGURATIONS"
Locate 4 , 5
Lcd ">PRESS ENTER"
```

```
Do
CallKeypad
Loop Until Tombol = 77
```

```
Cls
Lcd "SETPOINT SUHU"
Call Entry
Suhu_sp = Setpoint_ratusan
Cls
Lcd "SETPOINT PH"
Call Entry
Ph_sp = Setpoint_ratusan
Cls
Lcd "SETPOINT RH"
Call Entry
Rh_sp = Setpoint_ratusan
Cls
Lcd "SETPOINT CO2"
Call Entry
Co2_sp = Setpoint_ratusan
```

```
Cls
Upperline
```



```

Lcd "SUHU : " ; Suhu_sp ; " [CANCEL]"
Lowerline
Lcd "pH : " ; Ph_sp
Thirdline
Lcd "RH : " ; Rh_sp
Fourthline
Lcd "CO2 : " ; Co2_sp ; " [ENTER]"
Waitms 200

Cancel:
Call Keypad
If Tombol = 99 Then
Goto Tampilan_awal
Elseif Tombol = 77 Then
Goto Program_utama
Else
Goto Cancel
End If

Program_utama:
Do
Call Data_suhu
'Print "Data suhu: " ; Suhu
'mengirimkan data suhu ke komputer
'Print "Data kelembaban: " ; Kelembaban
'mengirimkan data kelembaban ke komputer
Waitms 100
IwresetPINB , 4
Iwwrite&HCC , 1 , PINB , 4 'note that now the number of bytes must be specified!
Iwwrite&H44 , 1 , PINB , 4 'start measure
Wait 1 'wait for end of conversion

IwresetPINB , 4 'use this port and pin for the second device
Iwwrite&HCC , 1 , PINB , 4 'note that now the number of bytes must be specified!
Iwwrite&HBE , 1 , PINB , 4
Ar = Iwread(2 , PINB , 4)
Suhu_ds = Ar / 16
'co2
Co = Getadc(channel_co2)
Co1 = Co
Co1 = Co1 - Carbon
Co1 = Co1 * 5
Co1 = Co1 / 4.45
Co1 = Co1 * 49600
Co1 = Co1 / 1024
Co1 = 400 + Co1
Co2 = Co1 / 10000
Waitms 100
'ph
Ph = Getadc(channel_ph)
Phs = Ph
Phs = Phs / 1024
Phs = Phs * 14
Waitms 100
Open "com2: " For Binary As#2
Print#2 , "#" ; Suhu_ds ; "#" ; Kelembaban ; "#" ; Co2 ; "#" ; Phs;
P = Ph_sp - Phs
Call Aktuator
Close#2
Waitms 100
Cls
Cursor Off
Upperline
Lcd "Rh =" ; Kelembaban ; " " ; "%"
Lowerline
Lcd "CO2 =" ; Co2 ; " " ; "%"
Thirdline
Lcd "pH =" ; Phs
Fourthline
Lcd "Suhu=" ; Suhu_ds ; " " ; Chr(1); "C"
Waitms 500
Loop
End

Sub Data_suhu
'perintah untuk mengambil data suhu
Command = &B00000011

```

```

Call Kirim
'memanggil fungsi kirim
Tempc = S * Dataword
Tempc = Tempc - 40
Suhu = Tempc
'perintah untuk mengambil data kelembaban
Command = &B00000101
Call Kirim
Calc = C2 * Dataword
Calc2 = Dataword * Dataword
Calc2 = C3 * Calc2
Calc = Calc + C1
Rhlinear = Calc + Calc2
Calc = H * Dataword
Calc = Calc + S
Calc2 = Tempc - 25
Calc = Calc2 * Calc
Rhlintemp = Calc + Rhlinear
Kelembaban = Rhlintemp
End Sub

```

```

Sub Kirim()
Local Datavalue As Word
Local Databyte As Byte
Set Sck
Reset Dataout
Reset Sck
Set Sck
Set Dataout
Reset Sck
Shiftout Dataout , Sck , Command , 1
DDRD = &B11111101
ConfigPIND.1 =Input
Set Sck
Reset Sck
Waitus 10
BitwaitPIND.1 ,Reset
Shiftin Datain , Sck , Databyte , 1
Datavalue = Databyte
DDRD = &B11111111
ConfigPIND.1 =Output
Reset Dataout
Set Sck
Reset Sck
DDRD = &B11111101
ConfigPIND.1 =Input
Shiftin Datain , Sck , Databyte , 1
Shift Datavalue ,Left, 8
Datavalue= Datavalue Or Databyte
Dataword = Datavalue
DDRD = &B11111111
ConfigPIND.1 =Output
Reset Dataout
Set Sck
Reset Sck
DDRD = &B11111101
ConfigPIND.1 =Input
Shiftin Datain , Sck , Databyte , 1
DDRD = &B11111111
ConfigPIND.1 =Output
Set Dataout
Set Sck
Reset Sck
End Sub

```

```

'===== SUBROUTIN =====
Sub Entry
'satuan
Scan_satuan:
CallKeypad
If Tombol < 20 Then
    Setpoint_satuan = Tombol
Cls
Lcd Setpoint_satuan
Elseif Tombol = 77 Then
    Setpoint_ratusan = 0
Goto Selesai

```




```

Else
Goto Scan_satuan
End If
'puluhan
Scan_puluhan:
Call Keypad
If Tombol < 20 Then
    Setpoint_puluhan = Setpoint_satuan * 10
    Setpoint_puluhan = Setpoint_puluhan + Tombol
Cls
Lcd Setpoint_puluhan
Elseif Tombol = 30 Then
Cls
Lcd "0"
Goto Scan_satuan
Elseif Tombol = 77 Then
    Setpoint_ratusan = Setpoint_satuan
Goto Selesai
End If
'ratusan
Scan_ratusan:
Call Keypad
If Tombol < 20 Then
    Setpoint_ratusan = Setpoint_puluhan * 10
    Setpoint_ratusan = Setpoint_ratusan + Tombol
Cls
Lcd Setpoint_ratusan
Elseif Tombol = 30 Then
Cls
Lcd Setpoint_satuan
Goto Scan_puluhan
Elseif Tombol = 77 Then
    Setpoint_ratusan = Setpoint_puluhan
Goto Selesai
End If
'tunggu enter
Tunggu_enter:
Call Keypad
If Tombol = 30 Then
Cls
Lcd Setpoint_puluhan
Goto Scan_ratusan
Elseif Tombol = 77 Then
Goto Selesai
Else
Goto Tunggu_enter
End If
Selesai:
End Sub

Sub Keypad
Tunggu_tekan:
Btn =Getkbd()
If Btn > 15 Then GotoTunggu_tekan
Tombol =Lookup(btn , Dta)
Waitms 200
End Sub

Sub Aktuator
If Suhu_ds < Suhu_sp ThenPrint"S+"
If Suhu_ds > Suhu_sp Then Print "S-"
If Kelembaban < Rh_sp Then Print "K+"
If Kelembaban > Rh_sp Then Print "K-"
If Co2 < Co2_sp Then Print "C+"
If Co2 > Co2_sp Then Print "C-"
If Phs < Ph_sp Then Print P ; "+"
If Phs > Ph_sp Then Print P ; "-"
End Sub

Dta:
Data 20 , 77 , 0 , 99 , 50 , 9 , 8 , 7 , 40 , 6 , 5 , 4 , 30 , 3 , 2 , 1

```

LAMPIRAN 3

DATASHEET



Features

- High-performance, Low-power AVR[®] 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 133 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers + Peripheral Control Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 128K Bytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 4K Bytes EEPROM
 - 4K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Up to 64K Bytes Optional External Memory Space
 - Programming Lock for Software Security
 - SPI Interface for In-System Programming
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - Two Expanded 16-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Two 8-bit PWM Channels
 - 6 PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits
 - Output Compare Modulator
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Dual Programmable Serial USARTs
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
 - Software Selectable Clock Frequency
 - ATmega103 Compatibility Mode Selected by a Fuse
 - Global Pull-up Disable
- I/O and Packages
 - 53 Programmable I/O Lines
 - 64-lead TQFP and 64-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega128A
- Speed Grades
 - 0 - 16 MHz for ATmega128A



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 128K Bytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega128A

Rev. 8151E-AVR-02/10



ATmega128A

27. Electrical Characteristics

27.1 Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except RESET with respect to Ground	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on RESET with respect to Ground.....	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0 - 400.0mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

27.2 DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.7V$ to $5.5V$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage except XTAL1 and RESET pins	$V_{CC}=2.7 - 5.5$	-0.5		$0.2 V_{CC}^{(1)}$	V
V_{IH}	Input High Voltage except XTAL1 and RESET pins	$V_{CC}=2.7 - 5.5$	$0.6 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IL1}	Input Low Voltage XTAL1 pin	$V_{CC}=2.7 - 5.5$	-0.5		$0.1 V_{CC}^{(1)}$	V
V_{IH1}	Input High Voltage XTAL1 pin	$V_{CC}=2.7 - 5.5$	$0.7 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IL2}	Input Low Voltage RESET pin	$V_{CC}=2.7 - 5.5$	-0.5		$0.2 V_{CC}^{(1)}$	V
V_{IH2}	Input High Voltage RESET pin	$V_{CC}=2.7 - 5.5$	$0.85 V_{CC}^{(2)}$		$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low Voltage ⁽³⁾ (Ports A,B,C,D, E, F, G)	$I_{OL} = 20 \text{ mA}$, $V_{CC} = 5V$ $I_{OL} = 10 \text{ mA}$, $V_{CC} = 3V$			0.9 0.6	V V
V_{OH}	Output High Voltage ⁽⁴⁾ (Ports A,B,C,D, E, F, G)	$I_{OH} = -20 \text{ mA}$, $V_{CC} = 5V$ $I_{OH} = -10 \text{ mA}$, $V_{CC} = 3V$	4.2 2.2			V V
I_{IL}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin low (absolute value)			1.0	μA
I_{IH}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin high (absolute value)			1.0	μA
R_{RST}	Reset Pull-up Resistor		30	60	85	$k\Omega$
R_{PEN}	PEN Pull-up Resistor		30		60	$k\Omega$
R_{PU}	I/O Pin Pull-up Resistor		20		50	$k\Omega$

ATmega128A

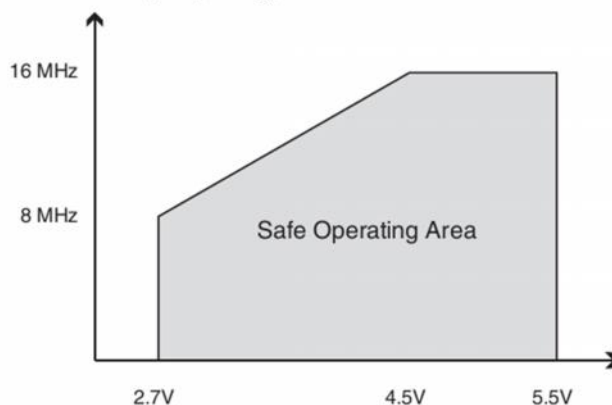
$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.7\text{V}$ to 5.5V (unless otherwise noted) (Continued)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
I_{CC}	Power Supply Current	Active 4 MHz, $V_{CC} = 3\text{V}$		3	5.5	mA
		Active 8 MHz, $V_{CC} = 5\text{V}$		9.8	19	mA
		Idle 4 MHz, $V_{CC} = 3\text{V}$		1	2.5	mA
		Idle 8 MHz, $V_{CC} = 5\text{V}$		3.5	11	mA
	Power-down mode	WDT enabled, $V_{CC} = 3\text{V}$		< 10	25	μA
		WDT disabled, $V_{CC} = 3\text{V}$		< 1	10	μA
V_{ACIO}	Analog Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{V}$ $V_{in} = V_{CC}/2$			40	mV
I_{ACLK}	Analog Comparator Input Leakage Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ $V_{in} = V_{CC}/2$	-50		50	nA
t_{ACPD}	Analog Comparator Propagation Delay	$V_{CC} = 2.7\text{V}$ $V_{CC} = 5.0\text{V}$		750 500		ns

- Notes:
1. "Max" means the highest value where the pin is guaranteed to be read as low
 2. "Min" means the lowest value where the pin is guaranteed to be read as high
 3. Although each I/O port can sink more than the test conditions (20 mA at $V_{CC} = 5\text{V}$, 10 mA at $V_{CC} = 3\text{V}$) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
TQFP and QFN/MLF Package:
1] The sum of all IOL, for all ports, should not exceed 400 mA.
2] The sum of all IOL, for ports A0 - A7, G2, C3 - C7 should not exceed 100 mA.
3] The sum of all IOL, for ports C0 - C2, G0 - G1, D0 - D7, XTAL2 should not exceed 100 mA.
4] The sum of all IOL, for ports B0 - B7, G3 - G4, E0 - E7 should not exceed 100 mA.
5] The sum of all IOL, for ports F0 - F7, should not exceed 100 mA.
If IOL exceeds the test condition, VOL may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test condition.
 4. Although each I/O port can source more than the test conditions (20 mA at $V_{CC} = 5\text{V}$, 10 mA at $V_{CC} = 3\text{V}$) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
TQFP and QFN/MLF Package:
1] The sum of all IOH, for all ports, should not exceed 400 mA.
2] The sum of all IOH, for ports A0 - A7, G2, C3 - C7 should not exceed 100 mA.
3] The sum of all IOH, for ports C0 - C2, G0 - G1, D0 - D7, XTAL2 should not exceed 100 mA.
4] The sum of all IOH, for ports B0 - B7, G3 - G4, E0 - E7 should not exceed 100 mA.
5] The sum of all IOH, for ports F0 - F7, should not exceed 100 mA.
If IOH exceeds the test condition, VOH may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to source current greater than the listed test condition.

27.3 Speed Grades

Figure 27-1. Maximum Frequency vs. V_{CC} .



27.4 Clock Characteristics

Figure 27-2. External Clock Drive Waveforms

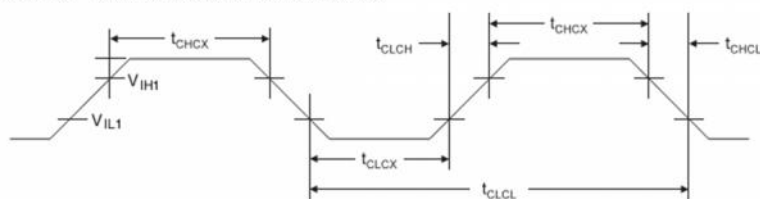


Table 27-1. External Clock Drive

Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 5.5V$		$V_{CC} = 4.5V \text{ to } 5.5V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	8	0	16	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	125		62.5		ns
t_{CHCX}	High Time	50		25		ns
t_{CLCX}	Low Time	50		25		ns
t_{CLCH}	Rise Time		1.6		0.5	μs
t_{CHCL}	Fall Time		1.6		0.5	μs
Δt_{CLCL}	Change in period from one clock cycle to the next		2		2	%

ATmega128A

Table 27-2. External RC Oscillator, Typical Frequencies

R [kΩ] ⁽¹⁾	C [pF]	f ⁽²⁾
33	22	650 kHz
10	22	2.0 MHz

Notes: 1. R should be in the range 3 kΩ - 100 kΩ, and C should be at least 20 pF. The C values given in the table includes pin capacitance. This will vary with package type.

2. The frequency will vary with package type and board layout.

27.5 System and Reset Characteristics

Table 27-3. Reset Characteristics

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
V _{POT}	Power-on Reset Threshold Voltage (rising)			1.4	2.3	V
	Power-on Reset Threshold Voltage (falling) ⁽¹⁾			1.3	2.3	V
V _{RST}	RESET Pin Threshold Voltage		0.2 V _{CC}		0.85 V _{CC}	V
t _{RST}	Pulse width on RESET Pin		1.5			μs
V _{BOT}	Brown-out Reset Threshold Voltage ⁽²⁾	BODLEVEL = 0	3.7	4.0	4.5	V
t _{BOD}	Minimum low voltage period for Brown-out Detection	BODLEVEL = 0		2		μs
V _{HYST}	Brown-out Detector hysteresis			100		mV

Notes: 1. The Power-on Reset will not work unless the supply voltage has been below V_{POT} (falling)

2. V_{BOT} may be below nominal minimum operating voltage for some devices. For devices where this is the case, the device is tested down to V_{CC} = V_{BOT} during the production test. This guarantees that a Brown-out Reset will occur before V_{CC} drops to a voltage where correct operation of the microcontroller is no longer guaranteed. The test is performed using BODLEVEL=0 for ATmega128A. BODLEVEL=1 is not applicable for ATmega128A.

20. USART

20.1 Features

- Full Duplex Operation (Independent Serial Receive and Transmit Registers)
- Asynchronous or Synchronous Operation
- Master or Slave Clocked Synchronous Operation
- High Resolution Baud Rate Generator
- Supports Serial Frames with 5, 6, 7, 8, or 9 Data Bits and 1 or 2 Stop Bits
- Odd or Even Parity Generation and Parity Check Supported by Hardware
- Data OverRun Detection
- Framing Error Detection
- Noise Filtering Includes False Start Bit Detection and Digital Low Pass Filter
- Three Separate Interrupts on TX Complete, TX Data Register Empty, and RX Complete
- Multi-processor Communication Mode
- Double Speed Asynchronous Communication Mode

20.1.1 Dual USART

The Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter (USART) is a highly flexible serial communication device. The ATmega128A has two USART's, USART0 and USART1. The functionality for both USART's is described below. USART0 and USART1 have different I/O registers as shown in ["Register Summary" on page 366](#). Note that in ATmega103 compatibility mode, USART1 is not available, neither is the UBRR0H or UCRS0C Registers. This means that in ATmega103 compatibility mode, the ATmega128A supports asynchronous operation of USART0 only.

20.2 Overview

A simplified block diagram of the USART transmitter is shown in [Figure 20-1](#). CPU accessible I/O registers and I/O pins are shown in bold.

ATmega128A

Signal description:

txclk	Transmitter clock. (Internal Signal)
rxclk	Receiver base clock. (Internal Signal)
xcki	Input from XCK pin (internal Signal). Used for synchronous slave operation.
xcko	Clock output to XCK pin (Internal Signal). Used for synchronous master operation.
fosc	XTAL pin frequency (System Clock).

20.3.1 Internal Clock Generation – The Baud Rate Generator

Internal clock generation is used for the asynchronous and the synchronous master modes of operation. The description in this section refers to [Figure 20-2](#).

The USART Baud Rate Register (UBRR) and the down-counter connected to it function as a programmable prescaler or baud rate generator. The down-counter, running at system clock (fosc), is loaded with the UBRR value each time the counter has counted down to zero or when the UBRRL Register is written. A clock is generated each time the counter reaches zero. This clock is the baud rate generator clock output ($= f_{osc}/(UBRR+1)$). The transmitter divides the baud rate generator clock output by 2, 8, or 16 depending on mode. The baud rate generator output is used directly by the receiver's clock and data recovery units. However, the recovery units use a state machine that uses 2, 8, or 16 states depending on mode set by the state of the UMSEL, U2X and DDR_XCK bits.

[Table 20-1](#) contains equations for calculating the baud rate (in bits per second) and for calculating the UBRR value for each mode of operation using an internally generated clock source.

Table 20-1. Equations for Calculating Baud Rate Register Setting

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous Normal Mode (U2X = 0)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed Mode (U2X = 1)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master Mode	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{OSC}}{2BAUD} - 1$

Note: 1. The baud rate is defined to be the transfer rate in bit per second (bps).

BAUD Baud rate (in bits per second, bps)

fOSC System Oscillator clock frequency

UBRR Contents of the UBRRH and UBRRL Registers, (0 - 4095)

Some examples of UBRR values for some system clock frequencies are found in [Table 20-9](#) (see [page 198](#)).

20.3.2 Double Speed Operation (U2X)

The transfer rate can be doubled by setting the U2X bit in UCSRA. Setting this bit only has effect for the asynchronous operation. Set this bit to zero when using synchronous operation.

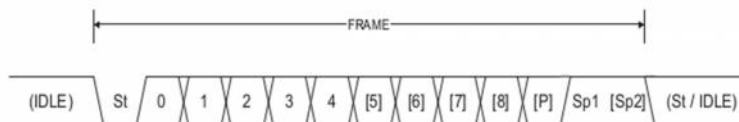
20.4 Frame Formats

A serial frame is defined to be one character of data bits with synchronization bits (start and stop bits), and optionally a parity bit for error checking. The USART accepts all 30 combinations of the following as valid frame formats:

- 1 start bit
- 5, 6, 7, 8, or 9 data bits
- no, even or odd parity bit
- 1 or 2 stop bits

A frame starts with the start bit followed by the least significant data bit. Then the next data bits, up to a total of nine, are succeeding, ending with the most significant bit. If enabled, the parity bit is inserted after the data bits, before the stop bits. When a complete frame is transmitted, it can be directly followed by a new frame, or the communication line can be set to an idle (high) state. Figure 20-4 illustrates the possible combinations of the frame formats. Bits inside brackets are optional.

Figure 20-4. Frame Formats



- St** Start bit, always low.
- (n)** Data bits (0 to 8).
- P** Parity bit. Can be odd or even.
- Sp** Stop bit, always high.
- IDLE** No transfers on the communication line (Rx/D or Tx/D). An IDLE line must be high.

The frame format used by the USART is set by the UCSZ2:0, UPM1:0 and USBS bits in UCSRB and UCSRC. The receiver and transmitter use the same setting. Note that changing the setting of any of these bits will corrupt all ongoing communication for both the receiver and transmitter.

The USART Character Size (UCSZ2:0) bits select the number of data bits in the frame. The USART Parity mode (UPM1:0) bits enable and set the type of parity bit. The selection between one or two stop bits is done by the USART Stop Bit Select (USBS) bit. The receiver ignores the second stop bit. An FE (Frame Error) will therefore only be detected in the cases where the first stop bit is zero.

20.4.1 Parity Bit Calculation

The parity bit is calculated by doing an exclusive-or of all the data bits. If odd parity is used, the result of the exclusive or is inverted. The relation between the parity bit and data bits is as follows:

$$P_{even} = d_{n-1} \oplus \dots \oplus d_3 \oplus d_2 \oplus d_1 \oplus d_0 \oplus 0$$

$$P_{odd} = d_{n-1} \oplus \dots \oplus d_3 \oplus d_2 \oplus d_1 \oplus d_0 \oplus 1$$

- P_{even}** Parity bit using even parity
- P_{odd}** Parity bit using odd parity

ATmega128A

d_n Data bit n of the character

If used, the parity bit is located between the last data bit and first stop bit of a serial frame.

20.5 USART Initialization

The USART has to be initialized before any communication can take place. The initialization process normally consists of setting the baud rate, setting frame format and enabling the Transmitter or the Receiver depending on the usage. For interrupt driven USART operation, the global interrupt flag should be cleared (and interrupts globally disabled) when doing the initialization.

Before doing a re-initialization with changed baud rate or frame format, be sure that there are no ongoing transmissions during the period the registers are changed. The TXC flag can be used to check that the Transmitter has completed all transfers, and the RXC flag can be used to check that there are no unread data in the receive buffer. Note that the TXC flag must be cleared before each transmission (before UDR is written) if it is used for this purpose.

The following simple USART initialization code examples show one assembly and one C function that are equal in functionality. The examples assume asynchronous operation using polling (no interrupts enabled) and a fixed frame format. The baud rate is given as a function parameter. For the assembly code, the baud rate parameter is assumed to be stored in the r17:r16 registers.

20.10 Examples of Baud Rate Setting

For standard crystal and resonator frequencies, the most commonly used baud rates for asynchronous operation can be generated by using the UBRR settings in Table 20-9. UBRR values which yield an actual baud rate differing less than 0.5% from the target baud rate, are bold in the table. Higher error ratings are acceptable, but the receiver will have less noise resistance when the error ratings are high, especially for large serial frames (see “Asynchronous Operational Range” on page 190). The error values are calculated using the following equation:

$$\text{Error}[\%] = \left(\frac{\text{BaudRate}_{\text{Closest Match}}}{\text{BaudRate}} - 1 \right) \cdot 100\%$$

Table 20-9. Examples of UBRR Settings for Commonly Used Oscillator Frequencies

Baud Rate (bps)	f _{osc} = 1.0000 MHz				f _{osc} = 1.8432 MHz				f _{osc} = 2.0000 MHz			
	U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	25	0.2%	51	0.2%	47	0.0%	95	0.0%	51	0.2%	103	0.2%
4800	12	0.2%	25	0.2%	23	0.0%	47	0.0%	25	0.2%	51	0.2%
9600	6	-7.0%	12	0.2%	11	0.0%	23	0.0%	12	0.2%	25	0.2%
14.4k	3	8.5%	8	-3.5%	7	0.0%	15	0.0%	8	-3.5%	16	2.1%
19.2k	2	8.5%	6	-7.0%	5	0.0%	11	0.0%	6	-7.0%	12	0.2%
28.8k	1	8.5%	3	8.5%	3	0.0%	7	0.0%	3	8.5%	8	-3.5%
38.4k	1	-18.6%	2	8.5%	2	0.0%	5	0.0%	2	8.5%	6	-7.0%
57.6k	0	8.5%	1	8.5%	1	0.0%	3	0.0%	1	8.5%	3	8.5%
76.8k	–	–	1	-18.6%	1	-25.0%	2	0.0%	1	-18.6%	2	8.5%
115.2k	–	–	0	8.5%	0	0.0%	1	0.0%	0	8.5%	1	8.5%
230.4k	–	–	–	–	–	–	0	0.0%	–	–	–	–
250k	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0.0%
Max ⁽¹⁾	62.5 kbps		125 kbps		115.2 kbps		230.4 kbps		125 kbps		250 kbps	

1. UBRR = 0, Error = 0.0%

21. Two-wire Serial Interface

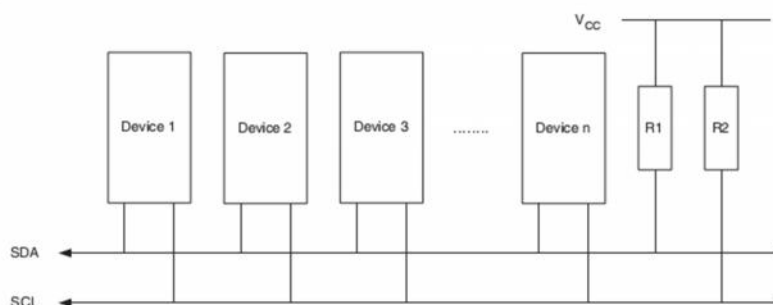
21.1 Features

- Simple yet Powerful and Flexible Communication Interface, only Two Bus Lines Needed
- Both Master and Slave Operation Supported
- Device can Operate as Transmitter or Receiver
- 7-bit Address Space allows up to 128 Different Slave Addresses
- Multi-master Arbitration Support
- Up to 400 kHz Data Transfer Speed
- Slew-rate Limited Output Drivers
- Noise Suppression Circuitry Rejects Spikes on Bus Lines
- Fully Programmable Slave Address with General Call Support
- Address Recognition Causes Wake-up when AVR is in Sleep Mode

21.2 Two-wire Serial Interface Bus Definition

The Two-wire Serial Interface (TWI) is ideally suited for typical microcontroller applications. The TWI protocol allows the systems designer to interconnect up to 128 different devices using only two bi-directional bus lines, one for clock (SCL) and one for data (SDA). The only external hardware needed to implement the bus is a single pull-up resistor for each of the TWI bus lines. All devices connected to the bus have individual addresses, and mechanisms for resolving bus contention are inherent in the TWI protocol.

Figure 21-1. TWI Bus Interconnection



21.2.1 TWI Terminology

The following definitions are frequently encountered in this section.

Table 21-1. TWI Terminology

Term	Description
Master	The device that initiates and terminates a transmission. The master also generates the SCL clock
Slave	The device addressed by a master
Transmitter	The device placing data on the bus
Receiver	The device reading data from the bus

ATmega128A

21.2.2 Electrical Interconnection

As depicted in [Figure 21-1](#), both bus lines are connected to the positive supply voltage through pull-up resistors. The bus drivers of all TWI-compliant devices are open-drain or open-collector. This implements a wired-AND function which is essential to the operation of the interface. A low level on a TWI bus line is generated when one or more TWI devices output a zero. A high level is output when all TWI devices tri-state their outputs, allowing the pull-up resistors to pull the line high. Note that all AVR devices connected to the TWI bus must be powered in order to allow any bus operation.

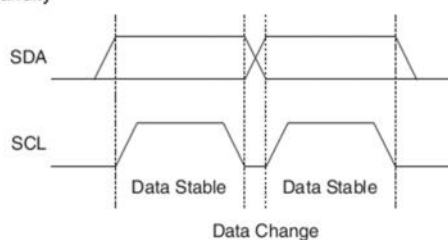
The number of devices that can be connected to the bus is only limited by the bus capacitance limit of 400 pF and the 7-bit slave address space. A detailed specification of the electrical characteristics of the TWI is given in ["Two-wire Serial Interface Characteristics" on page 324](#). Two different sets of specifications are presented there, one relevant for bus speeds below 100 kHz, and one valid for bus speeds up to 400 kHz.

21.3 Data Transfer and Frame Format

21.3.1 Transferring Bits

Each data bit transferred on the TWI bus is accompanied by a pulse on the clock line. The level of the data line must be stable when the clock line is high. The only exception to this rule is for generating start and stop conditions.

Figure 21-2. Data Validity

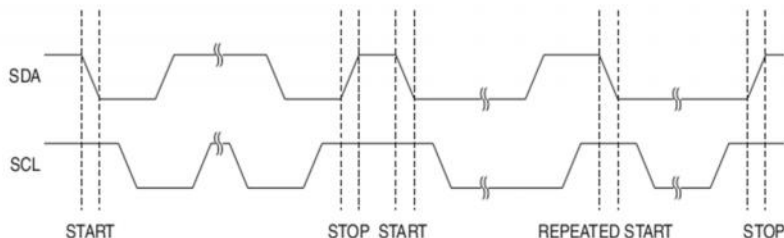


21.3.2 START and STOP Conditions

The master initiates and terminates a data transmission. The transmission is initiated when the master issues a START condition on the bus, and it is terminated when the master issues a STOP condition. Between a START and a STOP condition, the bus is considered busy, and no other master should try to seize control of the bus. A special case occurs when a new START condition is issued between a START and STOP condition. This is referred to as a REPEATED START condition, and is used when the master wishes to initiate a new transfer without relinquishing control of the bus. After a REPEATED START, the bus is considered busy until the next STOP. This is identical to the START behavior, and therefore START is used to describe both START and REPEATED START for the remainder of this datasheet, unless otherwise noted. As depicted below, START and STOP conditions are signalled by changing the level of the SDA line when the SCL line is high.

ATmega128A

Figure 21-3. START, REPEATED START and STOP Conditions



21.3.3 Address Packet Format

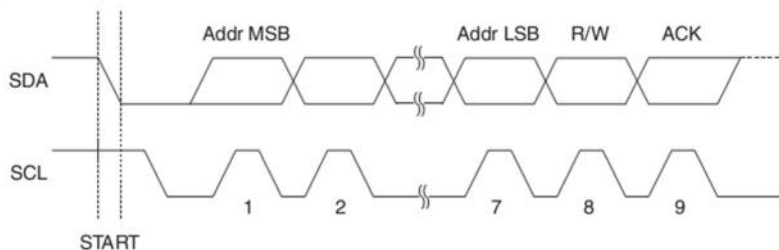
All address packets transmitted on the TWI bus are 9 bits long, consisting of 7 address bits, one READ/WRITE control bit and an acknowledge bit. If the READ/WRITE bit is set, a read operation is to be performed, otherwise a write operation should be performed. When a slave recognizes that it is being addressed, it should acknowledge by pulling SDA low in the ninth SCL (ACK) cycle. If the addressed slave is busy, or for some other reason can not service the master's request, the SDA line should be left high in the ACK clock cycle. The master can then transmit a STOP condition, or a REPEATED START condition to initiate a new transmission. An address packet consisting of a slave address and a READ or a WRITE bit is called SLA+R or SLA+W, respectively.

The MSB of the address byte is transmitted first. Slave addresses can freely be allocated by the designer, but the address 0000 000 is reserved for a general call.

When a general call is issued, all slaves should respond by pulling the SDA line low in the ACK cycle. A general call is used when a master wishes to transmit the same message to several slaves in the system. When the general call address followed by a Write bit is transmitted on the bus, all slaves set up to acknowledge the general call will pull the SDA line low in the ack cycle. The following data packets will then be received by all the slaves that acknowledged the general call. Note that transmitting the general call address followed by a Read bit is meaningless, as this would cause contention if several slaves started transmitting different data.

All addresses of the format 1111 xxx should be reserved for future purposes.

Figure 21-4. Address Packet Format



Analog to Digital Converter

Features

- 10-bit Resolution
- 0.5LSB Integral Non-linearity
- ± 2 LSB Absolute Accuracy
- 13 - 260 μ s Conversion Time
- Up to 76.9kSPS (Up to 15 kSPS at Maximum Resolution)
- 8 Multiplexed Single Ended Input Channels
- 7 Differential Input Channels
- 2 Differential Input Channels with Optional Gain of 10x and 200x
- Optional Left Adjustment for ADC Result Readout
- 0 - VCC ADC Input Voltage Range
- Selectable 2.56V ADC Reference Voltage
- Free Running or Single Conversion Mode
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

The Atmel® AVR®ATmega128 features a 10-bit successive approximation ADC. The ADC is connected to an 8-channel Analog Multiplexer which allows 8 single-ended voltage inputs constructed from the pins of Port F. The single-ended voltage inputs refer to 0V (GND).

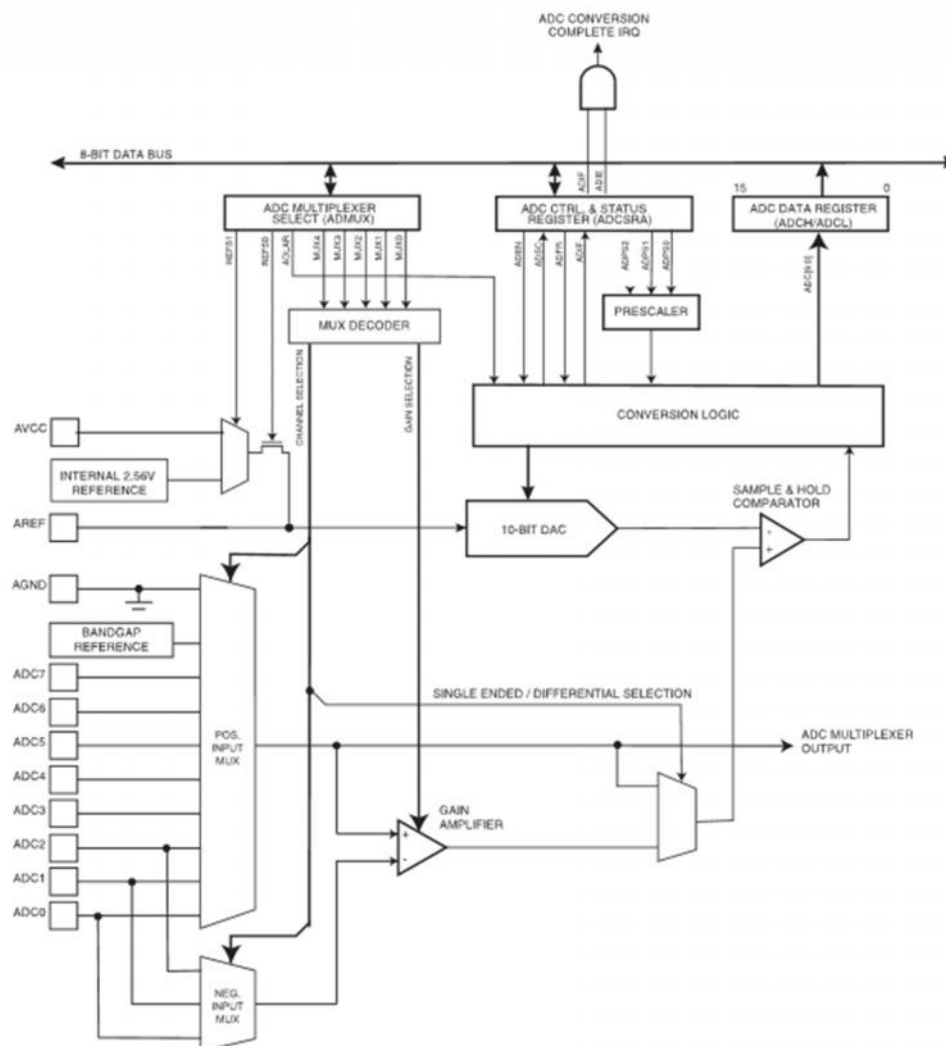
The device also supports 16 differential voltage input combinations. Two of the differential inputs (ADC1, ADC0 and ADC3, ADC2) are equipped with a programmable gain stage, providing amplification steps of 0 dB (1x), 20dB (10x), or 46dB (200x) on the differential input voltage before the A/D conversion. Seven differential analog input channels share a common negative terminal (ADC1), while any other ADC input can be selected as the positive input terminal. If 1x or 10x gain is used, 8-bit resolution can be expected. If 200x gain is used, 7-bit resolution can be expected.

The ADC contains a Sample and Hold circuit which ensures that the input voltage to the ADC is held at a constant level during conversion. A block diagram of the ADC is shown in [Figure 108](#).

The ADC has a separate analog supply voltage pin, AVCC. AVCC must not differ more than ± 0.3 V from V_{CC}. See the paragraph "ADC Noise Canceler" on page 236 on how to connect this pin.

Internal reference voltages of nominally 2.56V or AVCC are provided On-chip. The voltage reference may be externally decoupled at the AREF pin by a capacitor for better noise performance.

Figure 108. Analog to Digital Converter Block Schematic



ATmega128

ADC Conversion Result

After the conversion is complete (ADIF is high), the conversion result can be found in the ADC Result Registers (ADCL, ADCH).

For single ended conversion, the result is

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

where V_{IN} is the voltage on the selected input pin and V_{REF} the selected voltage reference (see Table 97 on page 242 and Table 98 on page 243). 0x000 represents ground, and 0x3FF represents the selected reference voltage minus one LSB.

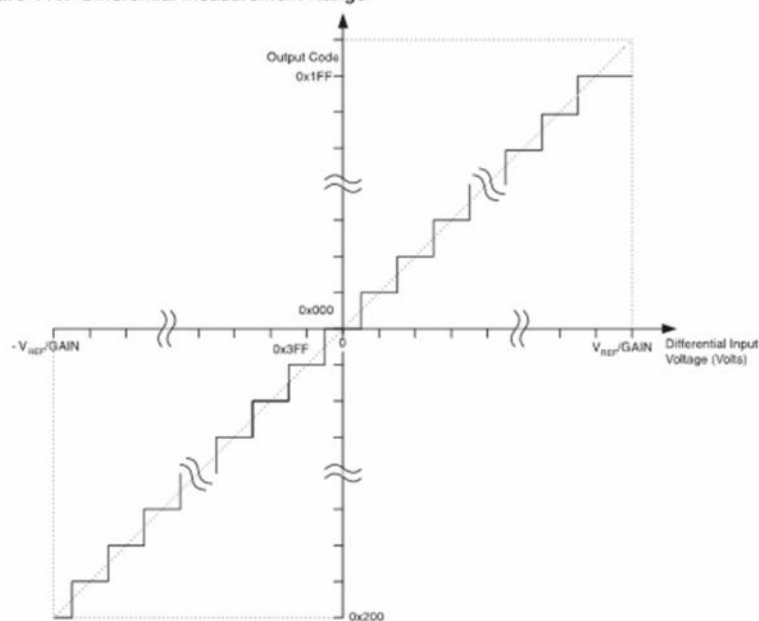
If differential channels are used, the result is

$$ADC = \frac{(V_{POS} - V_{NEG}) \cdot GAIN \cdot 512}{V_{REF}}$$

where V_{POS} is the voltage on the positive input pin, V_{NEG} the voltage on the negative input pin, GAIN the selected gain factor, and V_{REF} the selected voltage reference. The result is presented in two's complement form, from 0x200 (-512d) through 0x1FF (+511d). Note that if the user wants to perform a quick polarity check of the results, it is sufficient to read the MSB of the result (ADC9 in ADCH). If this bit is one, the result is negative, and if this bit is zero, the result is positive. Figure 119 shows the decoding of the differential input range.

Table 96 shows the resulting output codes if the differential input channel pair (ADCn - ADCm) is selected with a gain of GAIN and a reference voltage of V_{REF} .

Figure 119. Differential Measurement Range



TECHNICAL INFORMATION FOR CDM4160

1. Basic Information

1-1 Features

- * High selectivity to CO₂
- * Long life
- * Maintenance free
- * Pre-calibrated
- * Low cost
- * Wide detection range
- * Excellent durability

1-2 Applications

- * Indoor air quality control in offices, homes, and factories
- * CO₂ monitors
- * Agricultural applications

1-3 Specifications

The specifications of CDM4160 are contained in Table 1. Depending on the customer's target concentration range, Figaro offers three versions of this module as indicated in Table 1. Customized modules are available according to special requests from customers. Please consult with Figaro.

1-4 Dimensions (see Fig. 1 below)

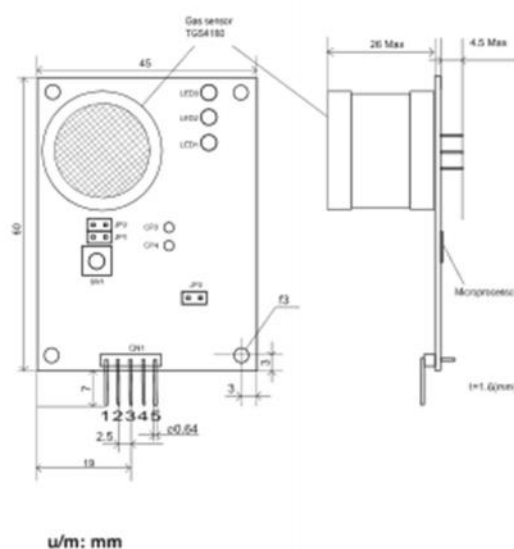


Fig. 1 - CDM4160 dimensions

2. Structure and Functions

2-1 Solid electrolyte CO₂ sensor TGS4160

The sensor changes its output voltage in response to exposure to CO₂ gas. The sensor should not be directly connected with low-input impedance equipment. To read sensor output, amplified voltage (CP4) should be used. Please refer to "TGS4160 Technical Information" for details as to the characteristics of the sensor.

2-2 Sensor's output signal voltage (CP4)

The sensor's output can be read as an amplified voltage (as taken from the differential amplifier). Voltage should be read from this port.

2-3 Microprocessor

The microcomputer takes data and renews it once per second. The processor calculates CO₂ concentrations based on the difference between current sensor output and a baseline value (which represents the sensor output value in fresh air).

2-4 Thermistor signal output voltage (CP3)

The thermistor's output signal voltage, which is used for compensation of the sensor's temperature dependency, can be read at this pin.

2-5 Concentration setting for control signal (JP1, JP2)

Concentrations utilized for control signals (i.e. the control concentration) can be changed by modifying the settings of JP1 and JP2 as shown in Table 3. The module is pre-set at Mode I before shipment.

2-6 Baseline reset switch

The baseline value may be manually reset using this switch. When this switch is pushed, the sensor's output at that moment is memorized as 400ppm of CO₂ (the baseline value in fresh air). When the switch

Pin No.	Name	Description
1	VW	Power supply input
2	VCO2C	CO ₂ concentration output
3	CTRL	Control signal output
4	TRBL	Trouble signal output
5	GND	Common ground

Table 2 - CDM4160 pin designations of CN1

NOTE: CN1 should be MB5P-90S, mfg. by JST.
Recommended receptacle for connector: 05JQ-BT, mfg. by JST.

TECHNICAL INFORMATION FOR CDM4160

Product name	Carbon dioxide (CO ₂) sensor module		
Model No.	CDM4160-L10	CDM4160-M10	CDM4160-H10
Detection range	400 to 4,500ppm	400 to 9,000ppm	400 to 45,000ppm
Sensor (principle)	TGS4160 (Solid state electrolyte)		
Accuracy (%)	Approx. ±20%		
Power supply	DC5.0±0.2V regulated		
Power consumption	1.3W (typical)		
Standby current	600mA (max)		
Operational temperature & humidity range	-10°~+50°C, 5~95%RH (avoid condensation)		
Storage temperature & humidity range	-20°~+60°C, 5~95%RH (pack in a moisture proof bag)		
Warm up time	2 hours		
CO ₂ concentration signal (*)	Continuous analog output proportional to CO ₂ concentration		
Control signal	ON: HIGH output (when CO ₂ conc. exceeds threshold) OFF: LOW output		
	None = CO ₂ concentration 1,000 (DC 4.5V full scale)	None = CO ₂ concentration 2,000 (DC 4.5V full scale)	None = CO ₂ concentration 10,000 (DC 4.5V full scale)
Trouble signal	ON: LOW output (sensor trouble) OFF: FLOAT NC		
LED display	Green LED: Lights while power is on (blinks during warm up)		
	Yellow LED: Blinks during trouble		
Reset switch	Establishes the ambient CO ₂ concentration as 400ppm when pushed		
Dimension	45 x 60 x 32mm (45 x 67 x 32 incl. CN1)		
Weight	approx. 25g		

Note 1: Assumes benchmark is set accurately at 400ppm of CO₂. This value does not contain long term drift.

Note 2: In this module, 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

Table 1 - Specifications

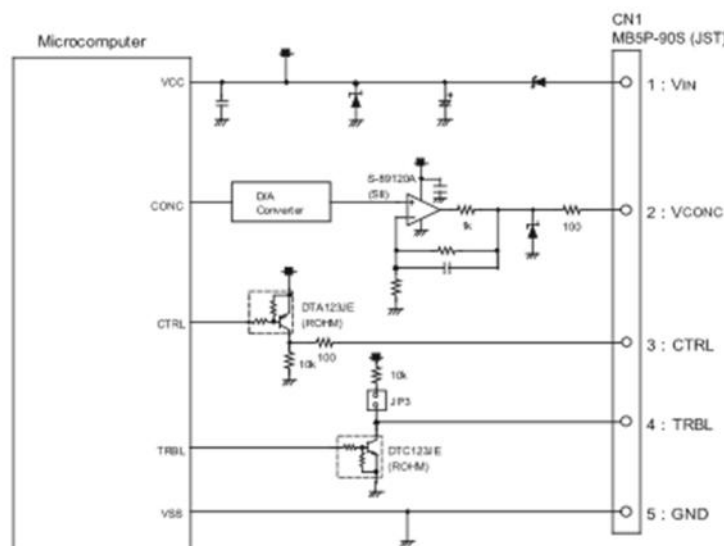


Fig. 2 - Circuit diagram of interface for circuit

ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 μ SOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 μ SOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55°C to +125°C	8 μ SOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+T&R	-55°C to +125°C	8 μ SOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20

Denotes a lead-free package. A "" will appear on the top mark of lead-free packages.

T&R = Tape and reel.

*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.

PIN DESCRIPTION

PIN			NAME	FUNCTION
SO	μ SOP	TO-92		
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	V _{DD}	Optional V _{DD} . V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the <i>Powering the DS18B20</i> section.)
5	4	1	GND	Ground

OVERVIEW

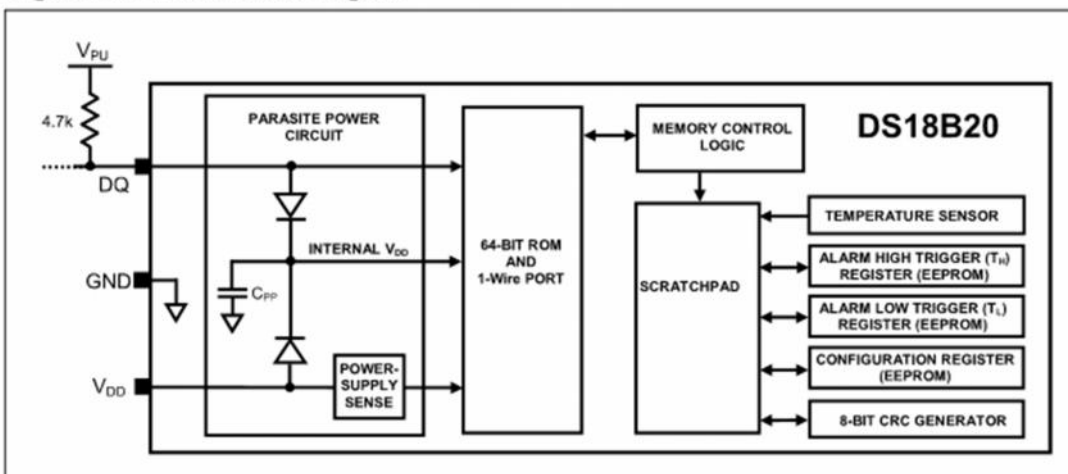
Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_H and T_L) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T_H, T_L, and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim's exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one

bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the *1-Wire Bus System* section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{PP}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on V_{DD} .

Figure 1. DS18B20 Block Diagram



OPERATION—MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slots" (see the *1-Wire Bus System* section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *Powering the DS18B20* section.

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers $S = 0$ and for negative numbers $S = 1$. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. Table 1 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

Figure 2. Temperature Register Format

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴

S = SIGN

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

OPERATION—ALARM SIGNALING

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_H and T_L registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers $S = 0$ and for negative numbers $S = 1$. The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_H and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the *Memory* section.

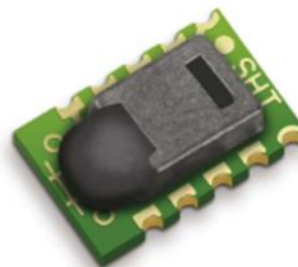
Figure 3. T_H and T_L Register Format

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
S	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T_H and T_L comparison since T_H and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to T_L or higher than or equal to T_H , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor IC

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

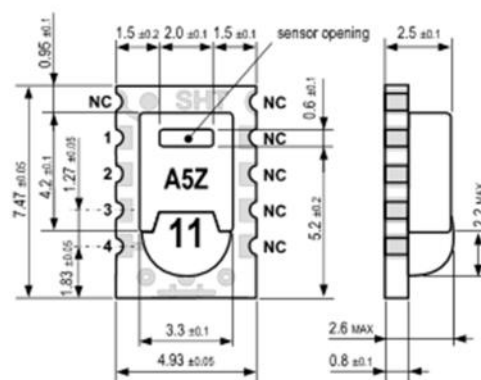


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides the humidity and temperature sensors the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application (data logging) of the sensor there is an evaluation kit *EK-H4* available including SHT71 (same sensor chip as SHT1x) and 4 sensor channels, hard and software to interface with a computer. For other evaluation kits please check www.sensirion.com/humidity.

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal		see Figure 2		
Accuracy ² SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal		see Figure 2		
Accuracy ² SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal		see Figure 2		
Repeatability			±0.1		%RH
Hysteresis			±1		%RH
Non-linearity	linearized		<<1		%RH
Response time ³ τ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

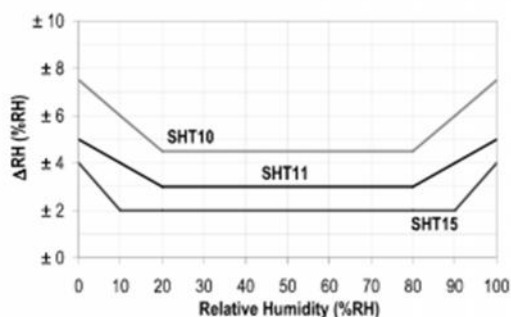


Figure 2: Maximal RH-tolerance at 25°C per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	μW
	measuring		3		mW
	average		90		μW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.

² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and are applicable to non-condensing environments only.

³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal		see Figure 3		
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal		see Figure 3		
Accuracy ² SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal		see Figure 3		
Repeatability			±0.1		°C
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶ τ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

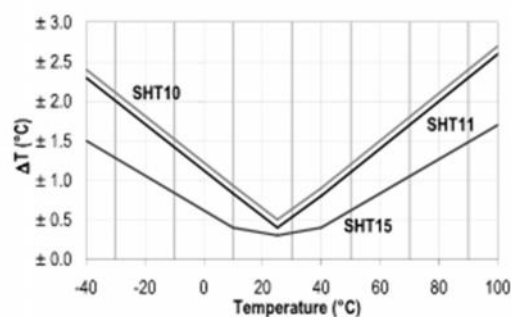


Figure 3: Maximal T-tolerance per sensor type.

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

This datasheet is subject to change and may be amended without prior notice.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

⁵ Values for VDD=3.3V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals and/or using shielded cables. Furthermore, slowing down SCK frequency will possibly improve signal integrity. Power supply pins (VDD, GND) must be decoupled with a 100nF capacitor if wires are used. Capacitor should be placed as close to the sensor as possible. Please see the Application Note "ESD, Latch-up and EMC" for more information.

1.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ± 2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ± 100 mA with $T_{amb} = 80^\circ\text{C}$ according to JEDEC78A. See Application Note "ESD, Latch-up and EMC" for more information.

2 Interface Specifications

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected



Table 1: SHT1x pin assignment, NC remain floating.

2.1 Power Pins (VDD, GND)

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I²C protocol; however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

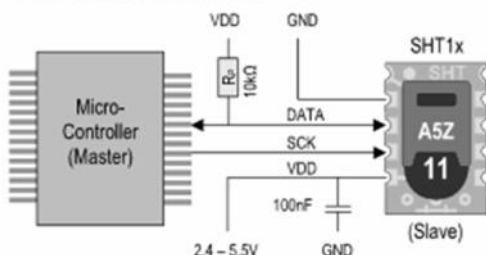


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_p and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

2.2 Serial clock input (SCK)

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.3 Serial data (DATA)

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK the DATA value may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T_{SU} and T_{HO} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_V after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10kΩ) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

2.4 Electrical Characteristics

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μA
	sleep		0.3	1.5	μA
Low level output voltage	$I_{OL} < 4$ mA	0		250	mV
High level output voltage	$R_P < 25$ kΩ	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	μA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μA

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_P stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

¹⁰ Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.

¹¹ Minimum value with one measurement of 8bit resolution without OTP reload per second. Typical value with one measurement of 12bit resolution per second.

Absolute maximum ratings for VDD versus GND are +7V and -0.3V. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the sensor reliability (e.g. hot carrier degradation, oxide breakdown). For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.

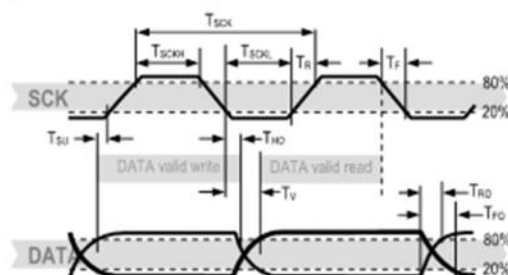


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Note that DATA valid read time is triggered by falling edge of anterior toggle.

	Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F _{SCK}	SCK Frequency	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz
		VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz
T _{SCKx}	SCK hi/low time		100			ns
T _R /T _F	SCK rise/fall time		1	200	*	ns
T _{FO}	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
		OL = 100pF	30	40	200	ns
T _{RO}	DATA rise time		**	**	**	ns
T _V	DATA valid time		200	250	***	ns
T _{SU}	DATA setup time		100	150	***	ns
T _{HO}	DATA hold time		10	15	****	ns

* $T_{R,max} + T_{F,max} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCKH} - T_{SCKL}$

** T_{RO} is determined by the $R_D \cdot C_{D,L}$ time-constant at DATA line

*** $T_{V,max}$ and $T_{SU,max}$ depend on external pull-up resistor (R_D) and total bus line capacitance (C_{bus}) at DATA line

**** $T_{HO,max} < T_V - \max(T_{RO}, T_{SU})$

Table 3: SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

3 Communication with Sensor

3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.

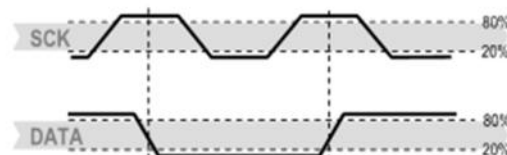


Figure 12: "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset , resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 4: SHT1x list of commands

3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 5: Status Register Bits

Measurement resolution: The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

End of Battery function detects and notifies VDD voltages below 2.47V. Accuracy is $\pm 0.05V$.

Heater: An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by $5 - 10^{\circ}C^{12}$ beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

OTP reload: With this operation the calibration data is uploaded to the register before each measurement. This may be deactivated for reducing measurement time by about 10ms.

4 Conversion of Signal Output

4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout

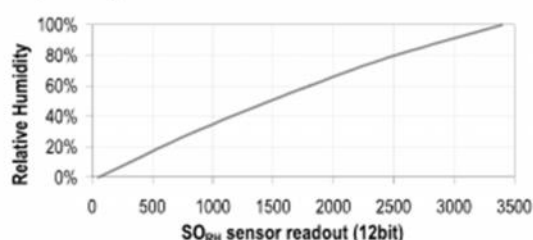
(SO_{RH}) with the following formula with coefficients given in Table 6:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (\%RH)$$

SO_{RH}	C_1	C_2	C_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Table 6: Humidity conversion coefficients

Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from $25^{\circ}C$ ($\sim 77^{\circ}F$) the humidity signal requires temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to $0.12\%RH/^{\circ}C$ @ 50%RH. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 7.

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7: Temperature compensation coefficients

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 8:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

¹³ If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.

¹² Corresponds to $9 - 18^{\circ}F$

Datasheet SHT1x

SENSIRION
 THE SENSOR COMPANY

VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _r	d ₂ (°C)	d ₂ (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Table 8: Temperature conversion coefficients.

4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T_d) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 – 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 9:

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T _n (°C)	m
Above water, 0 – 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 – 0°C	272.62	22.46

Table 9: Parameters for dew point (T_d) calculation.

Please note that "ln(...)" denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note "Introduction to Humidity".

5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note "Qualification Guide".

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. G qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100

temperature grade 2 test conditions listed in Table 10¹⁴. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer's specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results ¹⁵
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc. JESD22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH / ≈2.3bar, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 1000h	Within specifications
ESD immunity	MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with T _{amb} = 80°C, acc. JEDEC 17	Qualified

Table 10: Qualification tests: HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated Stress Test, THB = Temperature Humidity Unbiased

6 Packaging

6.1 Packaging type

SHT1x are supplied in a surface mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant – it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Device size is 7.47 x 4.93 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch), see Figure 1, weight is 100 mg.

6.2 Traceability Information

All SHT1x are marked with an alphanumeric, three digit code on the chip cap – see "A5Z" on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and testing. No information can be derived from the code directly; respective data is stored at Sensirion and is provided upon request.

Labels on the reels are displayed in Figures 19 and 20, they both give traceability information.

¹⁴ Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.

¹⁵ According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.