



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**AUTOMATIC WEATHER STATION (AWS) BERBASIS  
MIKROKONTROLER**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**KANTON LUMBAN TORUAN  
0706172115**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCA SARJANA FISIKA  
KEKHUSUSAN INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Kanton Lumban Toruan**

**NPM : 0706172115**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal :**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Kanton Lumban Toruan  
NPM : 0706172115  
Program Studi : Instrumentasi  
Judul Tesis : Automatic Weather Station (AWS) berbasis  
mikrokontroler

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : DR. Prawito ( )  
Pembimbing : DR. Sastra Kusuma Wijaya ( )  
Penguji : DR. Santoso Sukirno ( )  
Penguji : Prof. DR. BEF Da Silva ( )  
Penguji : DR. Tony Mulia ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 7 Juli 2009

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sain Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) DR. Prawito, dan DR. Sastra Kusuma Wijaya, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;
- (2) Pusat Instrumentasi BMKG yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data dan peralatan yang saya perlukan;
- (3) Isteri Saya (Saumi br. Hutasoit) dan Ketiga Anak saya (Lisa, Dendy, dan Synthia) yang telah memberikan bantuan dukungan moral; dan
- (4) Sahabat saya Sukarno, Franky yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pembangunan ilmu.

Depok, Juni 2009

Penulis

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

---

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

Nama : Kanton Lumban Toruan  
NPN : 0706172115  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya saya yang berjudul:

“Automatic Weather Station (AWS) berbasis Mikrokontroler”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : Juni 2009

Yang menyatakan

(Kanton Lumban Toruan)

## ABSTRAK

Nama : Kanton Lumban Toruan  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul : Automatic Weather Station (AWS) berbasis mikrokontroler

Pengamatan unsur cuaca secara terus menerus merupakan hal yang sangat penting, untuk mengetahui kondisi cuaca sesaat, data pengamatan cuaca sesaat dan yang lampau dapat digunakan untuk memperediksi kondisi cuaca yang akan datang, informasi keadaan cuaca sangat diperlukan mendukung aktifitas umat manusia. Pengamatan unsur cuaca berupa Temperatur, Tekanan udara, Kelembaban Udara, Arah dan kecepatan angin, Energi Surya, serta jumlah curah hujan hingga saat ini masih banyak dilakukan secara manual dimana kesalahan akibat faktor manusia (*human error*) sering terjadi, sementara bila dilakukan secara otomatis akan mempermudah kerja manusia, serta menghindari kesalahan yang diakibatkan faktor manusia.

Pemanfaatan mikrokontroler serta beberapa sensor dapat berfungsi sebagai alat akuisisi data, dengan menambahkan beberapa alat pendukung seperti sarana penyimpanan data serta alat komunikasi maka terbentuklah suatu sistem pengamatan cuaca otomatis atau yang sering disebut *Automatic Weather Station* (AWS) dengan ukuran yang kecil (*portable*) serta konsumsi daya yang rendah.

Hasil penelitian ini telah berhasil membuat suatu prototype AWS yang selanjutnya dapat dikembangkan untuk keperluan meteorologi dalam mendukung tugas pokok Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebagai pengamat unsur cuaca.

Kata kunci:

Sensor, mikrokontroler, *Automatic Weather Station*, *portable*, data

## ABSTRACT

Nama : Kanton Lumban Toruan  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul : Automatic Weather Station (AWS) based on microcontroller

Observations of weather on a continual basis is important, for the present weather conditions, weather observation data the past and the present can be used for weather prediction for the future, the weather information is needed to support the activities of mankind. Elements such as weather observation temperature, air pressure, Air Humidity, wind direction and velocity, radiation on the sun energy, and the amount of rainfall at this time to do much manually where errors due to human factors (human error) is often the case, while if done automatically will facilitate human work, and avoid the mistakes that caused the human factor.

Utilization microcontroller and some sensors can function as a data acquisition tool, with several add supporting tools such as data storage facilities and communication system then created an automatic weather observation system, or often called the Automatic Weather Station (aws) with the size of a small (portable) and consumption power is low.

Results of this research has been successfully made of a prototype aws which can further be developed for the purpose of meteorology support basic task Meteorological Agency, Climatology and Geophysics (BMKG) as an observer of the weather.

Key words:

Sensor, microcontroller, Automatic Weather Station, portable, data

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.1.1 Metode Pengamatan Cuaca .....	1
1.1.2 Kemampuan Mikrokontroler .....	2
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Automatic Weather Station .....	5
2.2 Pengukuran .....	6
2.2.1 Pengukuran Suhu .....	7
2.2.2 Pengukuran Tekanan Udara .....	8
2.2.3 Pengukuran Kelembaban Udara .....	9
2.2.4 Pengukuran Arah dan Kecepatan Angin .....	10
2.2.5 Pengukuran Curah Hujan .....	10
2.2.6 Pengukuran Titik embun ( <i>Dew Point</i> ) .....	10
2.2.7 Pengukuran Penyinaran Matahari .....	11
2.3 Mikrokontroler .....	12
2.3.1 Arsitektur AVR .....	12
2.3.2 Sistem minimum AVR .....	15
2.3.3 Memori AVR .....	15
2.3.4 Interupsi .....	19
2.3.5 Timer/Counter .....	20
2.3.6 ADC 10-bit .....	20
2.3.7 USART .....	21
2.3.8 2-Wire Serial Interface/I2C .....	23
2.3.9 SPI (Serial Peripheral Interface ) Bus .....	26
2.4 Komunikasi .....	29
<b>3. PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>30</b>
3.1 Hard Ware .....	30
3.1.1 Blok diagram dasar automatic weather station .....	30
3.1.2 Mikrokontroler .....	30
3.1.3 Rangkaian sistem aws .....	31
3.1.4 Sensor .....	33



3.1.5	Real Time Clock (RTC)	36
3.1.6	Global Positioning System (GPS) receiver	36
3.1.7	Media Penyimpanan	37
3.1.8	Komunikasi antar muka	37
3.1.8.1	Komunikasi antar IC	37
3.1.8.2	Komunikasi antar periperal	38
3.2	Software	38
3.3	Power	39
<b>4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>40</b>
4.1	Hasil Proses Kalibrasi	40
4.1.1	Kalibrasi Temperatur	40
4.1.2	Kalibrasi Kelembaban	45
4.1.3	Kalibrasi Tekanan Udara	50
4.1.4	Kalibrasi Kecepatan Angin	56
4.1.5	Kalibrasi Arah Angin	63
4.1.6	Kalibrasi Curah Hujan	64
4.1.7	Kalibrasi Penyinaran Matahari	70
4.2	Analisa Alat	70
4.3	Hasil Uji coba Alat	71
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>77</b>
5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	78
<b>6.</b>	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pin dan nama sinyal konektor serial DB-9 .....	22
Tabel 4.1	Data kalibrasi Temperatur .....	41
Tabel 4.2a	Perhitungan ketidakpastian temperatur set point 20 °C .....	42
Tabel 4.2b	Perhitungan ketidakpastian temperatur set point 30 °C .....	43
Tabel 4.2c	Perhitungan ketidakpastian temperatur set point 40 °C.....	44
Tabel 4.3	Nilai koreksi serta ketidakpastian temperatur .....	45
Tabel 4.4	Data Kalibrasi Kelembaban Udara (RH) .....	45
Tabel 4.5a	Perhitungan ketidakpastian RH Set Point 40% .....	47
Tabel 4.5b	Perhitungan ketidakpastian RH Set Point 60% .....	48
Tabel 4.5c	Perhitungan ketidakpastian RH Set Point 80% .....	49
Tabel 4.6	Nilai koreksi serta ketidakpastian Kelembaban .....	50
Tabel 4.7	Data Kalibrasi Tekanan Udara .....	50
Tabel 4.8a	Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 850 mb .....	52
Tabel 4.8b	Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 900 mb .....	53
Tabel 4.8c	Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 950 mb .....	54
Tabel 4.8d	Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 1000 mb .....	55
Tabel 4.9	Tabel koreksi Tekanan Udara .....	56
Tabel 4.10	Data Kalibrasi Kecepatan Angin .....	56
Tabel 4.11a	Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 0.7 m/s .....	58
Tabel 4.11b	Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 2.8 m/s .....	59
Tabel 4.11c	Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 5.6 m/s .....	60
Tabel 4.11d	Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 7.7 m/s .....	61
Tabel 4.11e	Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 10.5 m/s .....	62
Tabel 4.12	Hasil Kalibrasi Kecepatan angin .....	63
Tabel 4.13	Data Kalibrasi arah Angin .....	64
Tabel 4.14	Data Kalibrasi curah hujan dengan luas corong 200 cm <sup>2</sup> .....	65
Tabel 4.15a	Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 4 ml.....	66
Tabel 4.15b	Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 8 ml.....	67
Tabel 4.15c	Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 12 ml.....	68
Tabel 4.15d	Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 16 ml.....	69
Tabel 4.16	Nilai koreksi serta ketidakpastian curah hujan.....	70
Tabel 4.17	Hasil uji coba alat AWS.....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok arsitektur AVR .....	13
Gambar 2.2	Pewaktuan eksekusi program secara paralel .....	14
Gambar 2.3	Peta Memori Atmega 164P .....	16
Gambar 2.4	Pinout Atmega164P .....	18
Gambar 2.5	Blok Diagram Atmega 164P .....	19
Gambar 2.6	Konfigurasi pin DB-9 .....	22
Gambar 2.7	Interkoneksi TWI Bus .....	23
Gambar 2.8	Operasi kerja I2C .....	25
Gambar 2.9	Kondisi Start dan Stop .....	25
Gambar 2.10	Kondisi Acknowledge .....	26
Gambar 2.11	Pin-pin penghubung SPI serta arah komunikasi .....	27
Gambar 2.12	Prosedur operasi SPI .....	27
Gambar 2.13	Mode dan diagram pewaktuan SPI .....	28
Gambar 3.1	Diagram Blok AWS .....	30
Gambar 3.2	Rangkaian AWS .....	32
Gambar 3.3	Diagram Rangkaian Real Time Clock (RTC) .....	36
Gambar 3.4	Diagram Blok Sistem Catu Daya .....	39
Gambar 4.1	Grafik Temperatur Standar vs AWS .....	41
Gambar 4.2	Grafik Kelembababan Standar vs AWS .....	46
Gambar 4.3	Grafik Tekanan Standar vs AWS .....	51
Gambar 4.4	Grafik Linieritas pengukuran Thermal Anemometer vs AWS .....	63
Gambar 4.5	Grafik Polynomial Perubahan Tekanan udara.....	73
Gambar 4.6	Grafik Polynomial Perubahan Temperatur udara.....	73
Gambar 4.7	Grafik Polynomial Perubahan Kelembaban udara.....	74
Gambar 4.8	Grafik Polynomial Perubahan Temperatur Titik embun.....	74
Gambar 4.9	Grafik Polynomial Perubahan Energi Surya.....	75
Gambar 4.10	Display Alat .....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Diagram Alur Penelitian
- Lampiran 2. Diagram alur Program AWS
- Lampiran 3. Diagram Alur Tampilan dan Penyimpanan Data
- Lampiran 4. Block diagram LabView
- Lampiran 5. Data Sheet Atmega 164P
- Lampiran 6. Program C avr studio





**UNIVERSITAS INDONESIA**

**AUTOMATIC WEATHER STATION (AWS) BERBASIS  
MIKROKONTROLER**

**TESIS**

**KANTON LUMBAN TORUAN  
0706172115**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCA SARJANA FISIKA  
KEKHUSUSAN INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JUNI 2009**

## ABSTRAK

Nama : Kanton Lumban Toruan  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul : Automatic Weather Station (AWS) berbasis mikrokontroler

Pengamatan unsur cuaca secara terus menerus merupakan hal yang sangat penting, untuk mengetahui kondisi cuaca sesaat, data pengamatan cuaca sesaat dan yang lampau dapat digunakan untuk memprediksi kondisi cuaca yang akan datang, informasi keadaan cuaca sangat diperlukan mendukung aktifitas umat manusia. Pengamatan unsur cuaca berupa Temperatur, Tekanan udara, Kelembaban Udara, Arah dan kecepatan angin, Energi Surya, serta jumlah curah hujan hingga saat ini masih banyak dilakukan secara manual dimana kesalahan akibat faktor manusia (*human error*) sering terjadi, sementara bila dilakukan secara otomatis akan mempermudah kerja manusia, serta menghindari kesalahan yang diakibatkan faktor manusia.

Pemanfaatan mikrokontroler serta beberapa sensor dapat berfungsi sebagai alat akuisisi data, dengan menambahkan beberapa alat pendukung seperti sarana penyimpanan data serta alat komunikasi maka terbentuklah suatu sistem pengamatan cuaca otomatis atau yang sering disebut *Automatic Weather Station (AWS)* dengan ukuran yang kecil (*portable*) serta konsumsi daya yang rendah.

Hasil penelitian ini telah berhasil membuat suatu prototype AWS yang selanjutnya dapat dikembangkan untuk keperluan meteorologi dalam mendukung tugas pokok Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebagai pengamat unsur cuaca.

Kata kunci:

Sensor, mikrokontroler, *Automatic Weather Station, portable*

## ABSTRACT

Nama : Kanton Lumban Toruan  
Program Studi : Fisika Instrumentasi  
Judul : Automatic Weather Station (AWS) based on microcontroller

Observations of weather on a continual basis is important, for the present weather conditions, weather observation data the past and the present can be used for weather prediction for the future, the weather information is needed to support the activities of mankind. Elements such as weather observation temperature, air pressure, Air Humidity, wind direction and velocity, radiation on the sun energy, and the amount of rainfall at this time to do much manually where errors due to human factors (human error) is often the case, while if done automatically will facilitate human work, and avoid the mistakes that caused the human factor.

Utilization microcontroller and some sensors can function as a data acquisition tool, with several add supporting tools such as data storage facilities and communication system then created an automatic weather observation system, or often called the Automatic Weather Station (aws) with the size of a small (portable) and consumption power is low.

Results of this research has been successfully made of a prototype aws which can further be developed for the purpose of meteorology support basic task Meteorological Agency, Climatology and Geophysics (BMKG) as an observer of the weather.

Key note:

Sensor, mikrokontroler, *Automatic Weather Station, portable*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Bab 1 Penelitian ini disusun sedemikian rupa diawali dengan Latar belakang yang memuat Metode Pengamatan secara singkat dan Kemampuan Mikrokontroler lalu diikuti dengan Penjelasan singkat tentang Perumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

### 1.1 Latar Belakang

#### 1.1.1 Metode Pengamatan Cuaca

Pengamatan unsur cuaca sangat diperlukan untuk kesejahteraan umat manusia, unsur cuaca yang diamati akan dijadikan bahan untuk memprakirakan cuaca pada waktu yang akan datang dan juga cuaca lampau sangat berguna untuk mengetahui klimatologis suatu daerah, sehingga umat manusia dapat memanfaatkan kondisi cuaca tersebut sesuai kebutuhan masing-masing pihak. Data cuaca juga bisa dimanfaatkan untuk mengurangi atau bahkan menghindari resiko akibat buruk yang diakibatkan oleh cuaca itu sendiri. Intansi yang membutuhkan data cuaca antara lain: Pertanian/Perkebunan, Penerbangan, Pelayaran, Dinas Pekerjaan Umum, serta sektor Pariwisata, dan juga masyarakat umum yang memafaatkan sesuai keperluan masing-masing. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dulu BMG merupakan instansi pemerintah yang ditugaskan untuk mengamati cuaca dan memberikan prakiraan serta peringatan dini (*early warning*) yang berhubungan dengan cuaca. Untuk mengamati cuaca mutlak diperlukan instrumen dan ditempatkan dalam suatu lokasi tertentu yang representative mewakili kondisi lingkungan sekitarnya dan dikenal dengan Taman Alat, Taman Alat secara umum memuat alat ukur parameter cuaca seperti : Curah hujan, Suhu udara, Kelembaban udara, Arah dan kecepatan angin, Sinar matahari, sedang alat ukur tekanan udara ditempatkan dalam ruangan dekat Taman Alat. Secara keseluruhan Taman Alat dan alat lain yang di dalam ruangan disebut juga dengan “stasiun pengamatan” atau lebih dikenal dengan Stasiun Meteorologi. Stasiun Meteorologi yang tersebar sedemikian rupa sehingga membentuk jaringan pengamatan yang dapat mewakili masing-masing lokasi. Kerapatan jejaring



stasiun pengamatan serta keakuratan data akan menentukan mutu hasil analisa serta prakiraan cuaca.

Berdasarkan jenis instrumen yang digunakan maka sistem pengamatan cuaca saat ini dibagi menjadi dua bagian yaitu pengamatan secara konvensional dan secara otomatis. Yang dimaksud dengan pengamatan konvensional adalah pengamatan dengan menggunakan alat-alat konvensional dan sebagian besar instrumen yang digunakan berupa mekanik, non-elektrik dan datanya dikumpulkan secara manual, sedangkan pengamatan secara otomatis yaitu menggunakan instrumen dengan sensor elektrik dan datanya langsung tersimpan secara digital sehingga dengan mudah diproses.

Sistem pengamatan unsur cuaca otomatis atau yang sering dikenal dengan istilah *Automatic Weather Station* (AWS) sudah cukup lama dikembangkan di Negara maju, namun harganya cukup mahal sehingga masih sangat terbatas digunakan di Indonesia, dan hingga saat ini belum ada AWS produksi dalam negeri.

#### 1.1.2 Kemampuan Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu alat elektronika dalam bentuk rangkaian terpadu (*Integrated Circuit/IC*) yang mempunyai prosessor, masukan dan keluaran, serta memori yang terbatas, dengan kendali program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Mikrokontroler dengan segala kemampuannya sering juga disebut merupakan komputer di dalam chip, dengan penggunaan mikrokontroler maka sistem akan lebih ringkas, bila terjadi gangguan maka pencarian gangguan akan lebih mudah ditelusuri karena sistemnya yang kompak, juga konsumsi daya listrik sangat kecil dan ketahanannya menjadi salah satu pilihan dalam desain kendali dan sistem data akuisisi. Dengan memanfaatkan kemampuan mikrokontroler tersebut diharapkan dapat terbentuk sebuah sistem pengamatan cuaca secara otomatis atau *Automatic Weather Station* (AWS)

## 1.2 Perumusan Masalah

- Nama Model : Automatic Weather Station (AWS) berbasis Mikrokontroler
- Fungsi : Untuk mengamati unsur cuaca secara otomatis
- Hasil akhir :
- Prototype AWS
  - Modul aquisisi data
  - Modul Display data cuaca

### Spesifikasi Model

Sumber Tegangan (input) : AC/DC

Display data unsur cuaca :

- Tekanan Atmosfir
- Suhu Udara
- Kelembaban
- Arah Angin
- Kecepatan Angin
- Curah hujan

Pengujian :

- Kalibrasi Hasil
- Uji lapang

## 1.3 Tujuan Penelitian

Beberapa hal yang dilakukan pada penelitian ini antara lain adalah:

- a. Memanfaatkan teknologi mikrokontroler untuk keperluan Meteorologi
- b. Mempelajari dan membuat program *Automatic Weather Station* (AWS)
- c. Merancang Sistem pengamatan cuaca otomatis yang lebih murah dengan kualitas baik yang dilengkapi dengan *Global Positioning System* (GPS).

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil Penelitian ini diharapkan bisa dikembangkan untuk memproduksi AWS dalam negeri sehingga mengurangi ketergantungan kepada produksi luar negeri. AWS ini juga secara ekonomi akan lebih murah dibanding produk luar negeri dan dengan kualitas yang memadai. Dengan adanya produk yang lebih murah dan terjangkau maka jejaring kerapatan stasiun pengamatan cuaca bisa lebih dipadatkan khususnya pada daerah yang susah dijangkau sehingga homogenitas serta mutu data dapat lebih ditingkatkan.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Sistem AWS ini dibangun dengan menggunakan sensor buatan pabrik yang umum digunakan di bidang meteorologi dan hanya mengukur 7 (tujuh) parameter cuaca yaitu : Suhu udara, Kelembaban udara, Tekanan udara, Arah angin, Kecepatan angin, Intensitas sinar Matahari, serta jumlah curah hujan.. Komponen utama berupa mikrokontroler produk ATMEL seri AVR Atmega164P , dengan sistem pewaktu menggunakan Real Time Clock (RTC) yang disinkronisasi dengan Global Positioning System (GPS) yang juga berfungsi untuk menentukan lokasi serta elevasi alat, sistem ini dilengkapi juga port komunikasi RS-232 untuk komunikasi sistem dengan peralatan lain diluarnya.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan diawali dari BAB 1 (Pendahuluan) yang memuat tentang latar belakang, tujuan, manfaat, dan batasan penelitian. BAB 2 (Tinjauan Pustaka) yang memuat teori-teori yang berkaitan dengan rangkaian sistem AWS. BAB 3 (Metode Penelitian) memuat rancang bangun serta peralatan yang digunakan serta prosedur yang dilakukan. BAB 4 (Hasil dan Pembahasan) merupakan hasil akhir yang didapat beserta analisa-analisa yang dilakukan. BAB 5 (Kesimpulan dan Saran) memuat kesimpulan yang didapat setelah penelitian dilakukan serta saran-saran yang perlu untuk pengembangan selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 memuat teori tentang *Automatic Weather Station*, pengukuran, lebih lanjut dijelaskan mengenai pengukuran suhu, Tekanan Udara, Kelembaban Udara, Arah dan Kecepatan Angin, Curah Hujan, serta Suhu Titik Embun. Arsitektur serta fitur Mikrokontroler 164P yang digunakan dalam penelitian ini dibahas secara jelas.

#### 2.1 Automatic Weather Station

*Automatic Weather Station* (AWS) didefinisikan sebagai stasiun meteorologi yang melakukan pengamatan dan mengirim secara otomatis (WMO, 1992a).

Menurut penyajian data aws dapat dikelompokkan menjadi :

*Real-time AWS* : suatu stasiun cuaca yang menyajikan data secara real time kepada pengguna, pada umumnya aws ini dilengkapi dengan sistem komunikasi serta alarm untuk memberikan peringatan kepada pengguna jasa bila terjadi kondisi cuaca ekstrim seperti badai, hujan lebat, suhu tinggi dan sebagainya.

*Off-time AWS*: stasiun cuaca yang hanya merekam data serta menyimpan pada media penyimpanan dan menampilkan data aktual, data yang tersimpan dapat didownload sewaktu-waktu sesuai keperluan <sup>[16]</sup>.

Pada umumnya AWS dilengkapi dengan beberapa sensor antara lain :

- a. Termometer untuk mengukur Suhu
- b. Anemometer untuk mengukur Arah dan Kecepatan angin
- c. Hygrometer untuk mengukur Kelembaban
- d. Barometer untuk mengukur Tekanan Udara
- e. Rain gauge untuk mengukur Curah Hujan
- f. Pyranometer untuk mengukur Penyinaran Matahari

Data hasil pengukuran dari masing-masing AWS dapat diproses secara lokal pada lokasi AWS itu sendiri atau dikumpulkan pada unit pusat data akuisisi, kemudian data yang dikumpulkan secara otomatis diteruskan ke pusat pengolahan data untuk diolah sesuai kebutuhan. *Automatic Weather Station* dapat di desain secara terintegrasi dengan beberapa AWS lain sehingga membentuk suatu sistem pengamatan yang dikenal dengan *Automated Weather Observing System* (AWOS),

oleh karena pada umumnya digunakan untuk mengamati unsur cuaca di permukaan maka sering juga disebut sebagai *Automated Surface Observing System (ASOS)*.

Automatic weather station digunakan untuk meningkatkan jumlah dan keandalan pengamatan cuaca permukaan melalui:

- a. Peningkatkan densitas ketersediaan data secara khusus pada lokasi yang susah dijangkau (stasiun tak berawak).
- b. Pelengkap pada stasiun cuaca berawak bila ada kondisi tidak ada pengamatan akibat sesuatu hal.
- c. Meningkatkan reliabilitas pengukuran dengan teknologi canggih dan moderen.
- d. Menjamin homogenitas dari jaringan dengan menstandarisasi tehnik pengukuran
- e. Memenuhi persyaratan dan kebutuhan pengamatan baru
- f. Mengurangi kesalahan manusia
- g. Menekan biaya operasional
- h. Meningkatkan frekuensi atau kontinuitas pengamatan serta pelaporan

Pemanfaatan aws saat ini disesuaikan dengan penggunaannya seperti: stasiun meteorologi *synoptic*, stasiun meteorologi penerbangan, stasiun meteorologi pertanian, hidrologi, stasiun meteorologi maritim, dan juga pada suatu area olah raga seperti panahan, balapan dan sebagainya sehingga AWS menjadi stasiun cuaca multi guna.

## 2.2 Pengukuran

Pengukuran adalah untuk menentukan nilai besaran ukur, dan yang dimaksud dengan proses pengukuran adalah suatu proses yang meliputi spesifikasi besaran ukur, metode pengukuran dan prosedur pengukuran. Pengukuran tidak hanya terbatas pada kuantitas fisik, tetapi juga dapat diperluas untuk mengukur hampir semua benda yang bisa dibayangkan, seperti tingkat ketidakpastian. Secara umum, hasil pengukuran hanya merupakan taksiran atau pendekatan nilai besaran ukur, oleh karena itu hasil tersebut hanya lengkap bila disertai dengan pernyataan ketidakpastian dari pernyataan tersebut. Ketidakpastian adalah ukuran sebaran yang secara layak dapat dikaitkan dengan

nilai terukur, yang memberikan rentang, terpusat pada nilai terukur, dimana di dalam rentang tersebut terletak nilai benar dengan kemungkinan tertentu. Ketidakpastian hasil pengukuran mencerminkan kurangnya pengetahuan yang pasti tentang nilai besaran ukur<sup>[5]</sup>.

Hal yang paling utama dalam AWS adalah mengamati unsur cuaca melalui proses pengukuran besaran fisis yang dilakukan dengan bantuan sensor.

### 2.2.1 Pengukuran Suhu

Suhu suatu sistem adalah sifat yang menentukan apakah sistem itu setimbang termal dengan sistem lainnya atau tidak. Apabila dua sistem atau lebih berada dalam kesetimbangan termal, sistem-sistem itu dikatakan mempunyai suhu yang sama<sup>[12]</sup>. Dalam pengertian sehari-hari suhu juga disebut ukuran panas atau dinginnya suatu sistem. Mudah-mudahan, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut.

Suhu juga disebut temperatur, satuan internasional (SI) suhu adalah Kelvin (K) menurut *International Temperature Scale-1990* (ITS-90) standar acuan fisikal suhu adalah titik tiga fasa air (*triple point of water*) dengan nilai  $T_{TPW} = 273,16$  K, sehingga satuan Kelvin adalah<sup>[16]</sup>:

$$1K = \frac{1}{273,16} \times T_{TPW} \quad 2.1$$

Satuan lain suhu dan yang sering dipakai adalah derajat celsius ( $^{\circ}C$ ) simbol yang dipakai adalah t. Hubungan antara T dan t adalah:

$$t = T - 273,15^{\circ}C \quad 2.2$$

Suhu yang diukur pada penelitian ini adalah suhu udara alam terbuka di sekitar lokasi yang bebas dari pengaruh manusia atau industri. Pengukuran suhu dengan menggunakan sensor logam yang mengalami perubahan tahanan akibat perubahan suhu.

Untuk perubahan suhu yang kecil diperoleh persamaan berikut:

$$R_T = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) \quad 2.3$$

Dimana  $(T-T_0)$  kecil,  $R_T$  tahanan pada suhu  $T$ ,  $R_0$  tahanan pada suhu referensi  $T_0$ ,  $\alpha$  adalah koefisien suhu pada tahanan sekitar  $T_0$ .

Untuk suhu referensi  $0^\circ\text{C}$  maka persamaan 2.1 menjadi :

$$R_T = R_0(1 + \alpha.t) \quad 2.4$$

Untuk perubahan suhu yang lebih besar dan lebih presisi maka persamaan 2.3 menjadi :

$$R_t = R_0(1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2) \quad 2.5$$

Dan untuk suhu referensi  $0^\circ\text{C}$  persamaan 3 menjadi

$$R_t = R_0(1 + \alpha.t + \beta.t^2) \quad 2.6$$

$R_t$  : Tahanan logam pada saat suhu  $t^\circ\text{C}$ ,  $R_0$  tahanan logam pada suhu  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$  merupakan konstanta.

Alat ukur suhu dikenal dengan Termometer, ada beberapa jenis termometer antara lain Termometer Cairan dalam gelas, Termokopel, Termometer Tahanan Platina. Umumnya sensor yang digunakan dalam meteorologi adalah Termometer Air Raksa dalam Gelas dan Termometer Tahanan Platina(Pt) yang lazim dikenal dengan Pt-100, dimana logam Pt memiliki tahanan 100 ohm pada suhu  $0^\circ\text{C}$  dan 138,4 ohm pada suhu  $100^\circ\text{C}$ , sehingga sensitivitas standar sensor Pt-100 adalah nominal  $0.384 \text{ ohm}/^\circ\text{C}$ .

### 2.2.2 Pengukuran Tekanan Udara

Tekanan didefinisikan sebagai gaya persatuan luas

$$P = \frac{F}{A} \quad 2.7$$

$P$  adalah Tekanan,  $F$  adalah Gaya,  $A$  adalah Luasan daerah yang ditekan.

Tekanan udara didefinisikan sebagai berat kolom udara hingga ketinggian batas atmosfer yang menekan suatu luasan permukaan, gaya berat  $F = mg$  sehingga persamaan 2.7 dapat ditulis :

$$P = \frac{m.g}{A} \quad 2.8$$

$P$  adalah Tekanan Udara,  $m$  adalah massa kolom udara,  $g$  adalah percepatan gravitasi, dan  $A$  adalah luas permukaan yang mendapat gaya<sup>[12]</sup>.

Dengan mengingat bahwa atmosfer juga merupakan fluida maka tekanan hidrostatik juga berlaku pada atmosfer sehingga persamaan 2.6 bisa ditulis menjadi:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad 2.9$$

$P$  adalah tekanan udara,  $\rho$  adalah rapat massa udara,  $h$  adalah tinggi kolom udara diukur dari batas luar atmosfer, dengan demikian besarnya tekanan atmosfer sangat tergantung pada ketinggian semakin tinggi suatu tempat maka tekanan udara semakin kecil dan juga rapat massa udara ( $\rho$ ), semakin besar  $\rho$  suatu udara untuk ketinggian yang sama maka tekanan udara juga semakin besar. Alat ukur tekanan atmosfer adalah Barometer, satuan yang biasa digunakan dalam dunia meteorologi adalah millibar (mb) dimana  $1 \text{ mb} = 1 \text{ hPa}$ .

### 2.2.3 Pengukuran Kelembaban Udara

Udara di atmosfer merupakan campuran pelbagai gas, yaitu, 80% Nitrogen, 18% Oksigen, dan selebihnya Carbon dioksida, uap air, beberapa gas lainnya dalam jumlah kecil. Kelembaban udara menggambarkan tingkat ketersediaan uap air di udara, massa uap air persatuan volume dinamakan *kelembaban mutlak*. Perbandingan tekanan uap air yang tersedia terhadap tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama dinamakan kelembaban relatif (*Relative Humidity/RH*) dan dinyatakan dalam persen (%) <sup>[15]</sup>.

$$RH = \frac{e}{e_w} \times 100 \% \quad 2.10$$

RH= kelembaban relatif;  $e$  = tekanan uap air saat pengukuran;  $e_w$  = tekanan uap air jenuh.

Metode yang lebih sederhana untuk menentukan kelembaban relatif adalah dengan memakai termometer bola basah dan bola kering diletakkan berdampingan yang dinamakan Psychrometer. Pengukuran kelembaban udara secara digital menggunakan sensor kapasitif dimana tingkat ketersediaan uap air diantara lempeng kapasitor yang mewakili udara sekitarnya akan mempengaruhi nilai kapasitansi kapasitor.



#### 2.2.4 Pengukuran Arah dan Kecepatan Angin

Arah angin di tentukan berdasarkan derajat arah ( 0 s/d 360 derajat), arah angin didefenisikan dari mana angin datang, 0° atau 360° menyatakan arah angin dari arah Utara, 90° dari arah Timur, 180° dari arah Selatan , dan 270° angin dari arah Barat dan skala arah ditentukan dengan resolusi 1°. Alat ukur arah angin menggunakan wind vane yang dihubungkan dengan resistor variabel yang dapat berputar 360° dimana perubahan nilai resistor sebanding dengan perubahan tegangan yang dapat dinyatakan sebagai perubahan arah angin pada wind vane.

Kecepatan angin diukur dengan menggunakan cup anemometer, dimana kecepatan putaran cup anemometer menghasilkan pulsa dengan frekuensi sebanding dengan kecepatan angin yang diukur. Satuan kecepatan angin dalam pengukuran meteorologi menggunakan knot ( 1 knot = 0,514 m/s)

#### 2.2.5 Pengukuran Curah Hujan

Curah hujan diukur dengan menggunakan *tipping bucket* suatu penakar hujan yang dengan luas corong tertentu ( $200\text{cm}^2 = 20.000\text{ mm}^2$  atau  $400\text{cm}^2 = 40.000\text{ mm}^2$ ) dan didalamnya dilengkapi dengan penampung yang akan terjungkit bila volumenya sudah penuh yaitu  $4000\text{ mm}^3$  untuk luas corong  $20.000\text{mm}^2$ ,  $20.000\text{ mm}^3$  untuk luas corong  $40.000\text{ mm}^2$ , yang setara dengan curah hujan 0,2 mm atau 0,5 mm (tergantung type alat) satu kali jungkit akan menghasilkan satu pulsa. Hal tersebut di atas sesuai dengan satuan curah hujan adalah millimeter, yaitu kita mengukur kedalam curah hujan yang jatuh pada tabung berbentuk silinder dengan luas permukaan  $20.000\text{ mm}^2$  dengan volume  $4.000\text{ mm}^3$ .

$$V = A \times t \quad 2.11$$

V = Volum Tipping bucket, A = Luas penampang corong, t = tinggi curah hujan.

1 mm curah hujan didefenisikan bila terjadi hujan di suatu tempat akan terjadi genangan setinggi 1mm dengan catatan air hujan tersebut tidak mengalir kemana-mana.

#### 2.2.6 Pengukuran Temperatur Titik embun (*Dew Point*)

Temperatur Titik embun (Td) didefenisikan sebagai suhu terendah yang dapat dicapai oleh uap air agar uap air tersebut menjadi jenuh dan mengembun dengan tekanan udara yang tetap.

Dew point dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pendekatan Magnus [Sonntag90] dari parameter temperatur dan kelembaban sebagai berikut [4] :

$$e_w = \alpha \cdot e^{\left(\frac{\beta \cdot T}{\lambda + T}\right)} \quad 2.12$$

$e_w$  tekanan uap jenuh dan Magnus memberi nilai parameter  $\alpha = 6,112$  hPa,  $\beta = 17,62$ , dan  $\lambda = 243,12$  °C.

Temperatur titik embun  $T_d$  dapat didekati dengan

$$T_d = \frac{\lambda \cdot \ln\left(\frac{e}{\alpha}\right)}{\beta - \ln\left(\frac{e}{\alpha}\right)} \quad 2.13$$

Dengan memasukkan persamaan 2.10 ( $e_w = \frac{RH \cdot e}{100}$ ) dan 2.11 ke persamaan 2.12 diperoleh  $T_d$  sebagai fungsi  $T$  dan  $RH$

$$T_d(T, RH) = \frac{\lambda \cdot \left( \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \cdot T}{\lambda + T} \right)}{\beta - \left( \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \cdot T}{\lambda + T} \right)} \quad 2.14$$

Dengan memasukkan nilai parameter Magnus ke dalam persamaan 2.13 dan mendefinisikan  $H = (\log_{10}(RH) - 2) / 0.4343 + (17,62 \cdot T) / (243,12 + T)$  maka rumus  $T_d$  (°C) dapat disederhanakan menjadi:

$$T_d = \frac{243,12 \cdot H}{17,62 - H} \quad 2.15$$

### 2.2.7 Pengukuran Penyinaran Matahari

Penyinaran matahari (Irradiance) didefinisikan fluks radiasi yang masuk ke dalam satu satuan luas di beri simbol  $E$  dimana

$$E = d\Phi/dA \quad 2.16$$

$E$  menyatakan intensitas radiasi dalam Watt/m<sup>2</sup>, dalam bentuk energi Joule/m<sup>2</sup>, pengamatan radiasi matahari menggunakan sensor Pyranometer yang dilengkapi

dengan *photovoltaic cell* bila terkena radiasi akan menghasilkan pulsa yang setara dengan intensitas atau energi matahari saat itu.

### 2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah merupakan komputer dalam chip yang mampu memproses data dan telah dilengkapi memori walaupun dengan kapasitas yang masih sangat terbatas namun juga dilengkapi dengan saluran I/O yang berfungsi untuk melakukan komunikasi dengan sistem elektronika diluarnya, dimana semua bagian yang diperlukan untuk suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping suatu IC dengan kepadatan yang sangat tinggi, biasanya terdiri dari:

- a. CPU (Central Processing Unit)
- b. RAM (Random Access Memory)
- c. EEPROM/EPROM/PROM/ROM
- d. I/O, Serial & Parallel
- e. Timer
- f. Interrupt Controller

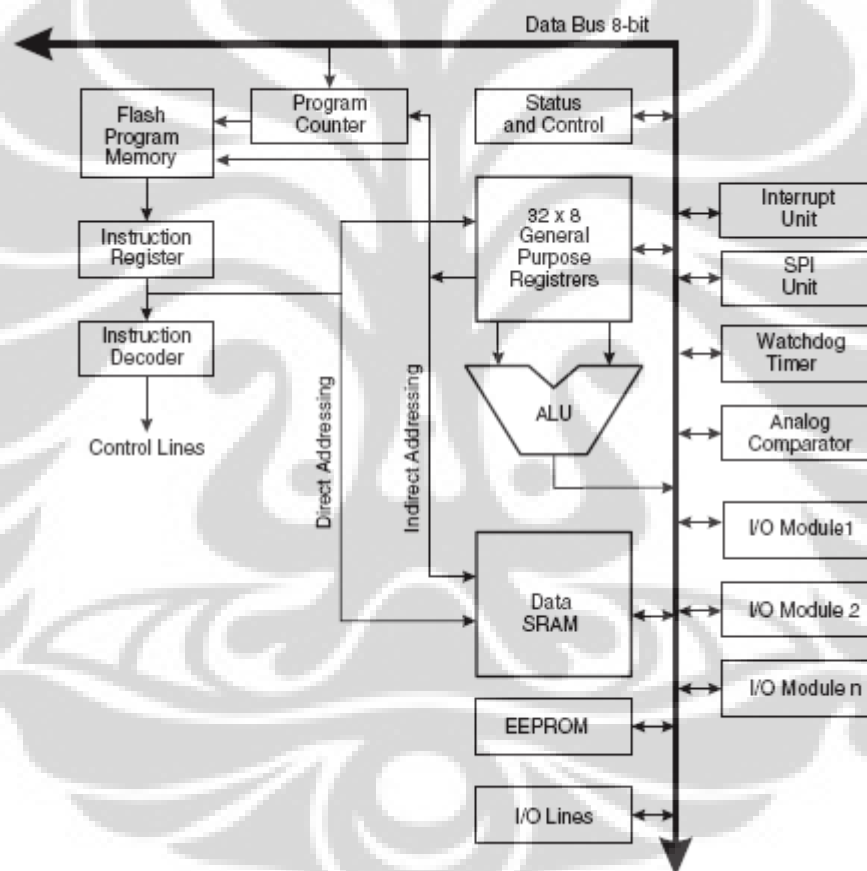
Rata-rata mikrokontroler memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung dan mudah, dan proses interrupt yang cepat dan efisien. Dengan kata lain mikrokontroler adalah "Solusi satu Chip" yang secara drastis mengurangi jumlah komponen dan biaya disain (harga relatif rendah). Dalam mikrokontroler juga terdapat piranti pendukung lainnya seperti ADC, DAC, serta piranti komunikasi. Sehingga mampu untuk mengontrol rangkaian elektronik di luarnya. Untuk merancang sebuah sistem yang berbasis mikrokontroler, kita memerlukan perangkat keras dan perangkat lunak yaitu:

- a. Sistem minimum mikrokontroler
- b. Software pemrograman dan kompilasi, serta downloader

#### 2.3.1 Arsitektur AVR

Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikrokontroler ATmega164P, dimana mikrokontroler jenis ini dibuat dengan teknologi CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) dengan konsumsi daya rendah. Mikrokontroler ini berbasis AVR RISC (*Reduced Instruction Set*

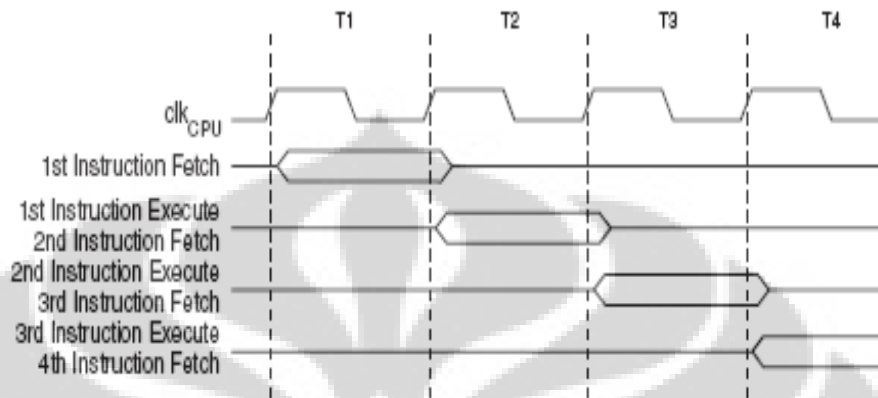
*Computing*) yang mengeksekusi instruksi program dalam satu siklus clock, hal ini dimungkinkan karena AVR menggunakan arsitektur *Havard* yaitu dimana bus serta memori untuk instruksi dan data dipisahkan. Instruksi pada memori program dieksekusi dengan pipeline satu tingkat yaitu sewaktu satu instruksi dieksekusi instruksi berikutnya diumpankan/pre-fetched dari memori program, beda dengan arsitektur Von-Neuman dimana mikrokontroler memiliki sebuah data bus yang dipergunakan untuk "fetch" instruksi dan data. Program (instruksi) dan data disimpan pada memori utama secara bersama-sama.



Gambar 2.1 Diagram Blok arsitektur AVR <sup>[3]</sup>

Ketika kontroler mengalami suatu alamat di memori utama, hal pertama yang dilakukan adalah mengambil instruksi untuk dilaksanakan dan kemudian mengambil data pendukung dari instruksi tersebut. Cara ini memperlambat operasi mikrokontroler. Semua register mikrokontroler AVR yang ada dihubungkan dengan Arithmetic Logic Unit (ALU), dua register yang berbeda

dapat diakses dalam satu siklus clock. Hal ini membuatnya jauh lebih cepat sepuluh kali dibanding dengan mikrokontroler yang berbasis CISC (*Complex Instruction Set Computing*).



Gambar 2.2 Pewaktuan eksekusi program secara paralel<sup>[3]</sup>

Sifat spesial dari mikrokontroler adalah kecil dalam ukuran, hemat daya listrik serta fleksibilitasnya menyebabkan mikrokontroler sangat cocok untuk dipakai sebagai pencatat/perekam data pada aplikasi yang tidak memerlukan kehadiran operator.

ALU (Arithmetic Logic Unit) adalah processor yang bertugas mengeksekusi (eksekutor) kode program yang ditunjuk oleh program counter.

Program Memory adalah memori *Flash* PEROM yang bertugas menyimpan program (*software*) yang telah di *compile* berupa bilangan heksa atau biner

Counter (PC) adalah komponen yang bertugas menunjukkan ke ALU alamat program memori yang harus diterjemahkan kode programnya dan dieksekusi.

32 General Purpose Working Register (GPR) adalah *register file* atau register kerja (R<sub>0</sub>–R<sub>31</sub>) yang mempunyai ruangan 8-bit. Tugas GPR adalah tempat ALU mengeksekusi kode-kode program, setiap intruksi dalam ALU melibatkan GPR. GPR terbagi dua yaitu kelompok atas (R16-R31) dan kelompok bawah (R0-R15), dimana kelompok bawah tidak bisa digunakan untuk mengakses data konstan secara langsung, dan hanya bisa digunakan antar-register, SRAM, atau register I/O. Sedangkan kelompok atas sama dengan kelompok bawah hanya mengeksekusi data konstan secara langsung.

Static Random Acces Memory (SRAM) adalah RAM yang bertugas menyimpan data sementara, mempunyai alamat dan ruang data. Alamat terakhir dari SRAM bergantung pada kapasitas SRAM yang sudah didefenisikan dalam file header dengan nama RAMEND.

Internal Pheripheral adalah peralatan/modul internal yang ada dalam mikrokontroler seperti saluran I/O, Interupsi eksternal, Timer/Counter, USART, EEPROM dan lain-lain. Tiap peralatan internal mempunyai register port (*register I/O*) yang mengendalikan peralatan internal tersebut.

### 2.3.2 Sistem minimum AVR

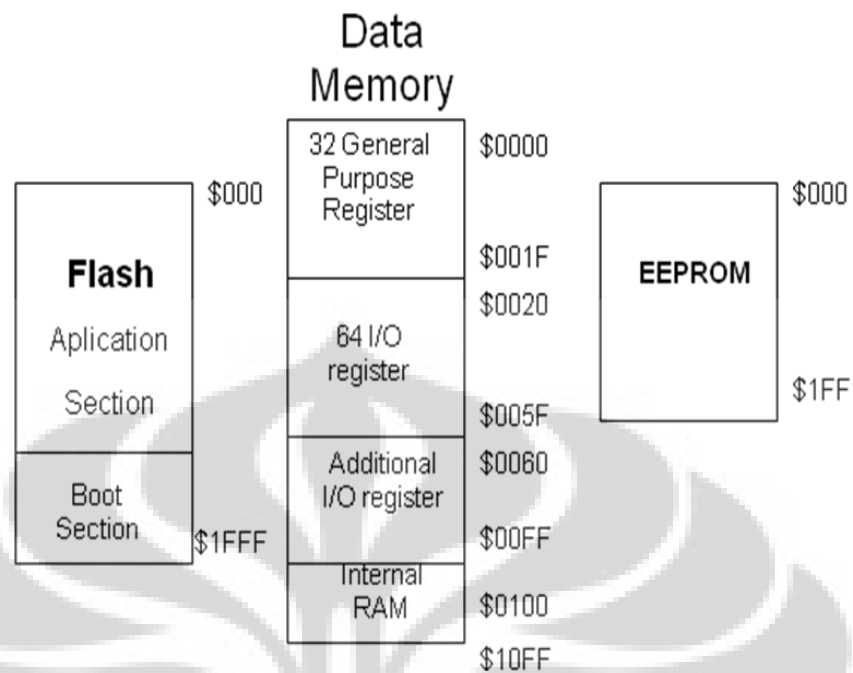
Agar mikrokontroler dapat berfungsi, maka mikrokontroler tersebut memerlukan komponen eksternal yang disebut dengan sistem minimum. Pada dasarnya sistim minimum mikrokontroler AVR (Alf and Vegard's RISC prosesor) memiliki prinsip yang sama yang terdiri dari 4 bagian yaitu:

- a. Prosesor, yaitu mikrokontroler itu sendiri
- b. Rangkaian reset agar mikrokontroler dapat menjalankan program mulai dari awal (tersedia di dalam mikrokontroler)
- c. Rangkaian klok yang digunakan untuk memberi detak pada CPU (tersedia didalam mikrokontroler)
- d. Rangkaian catu daya, yang digunakan untuk memberi sumberdaya.

### 2.3.3 Memori AVR

Pengaturan memori dalam mikrokontroler merupakan bagian yang sangat penting, karena keterbatasan memori sehingga harus digunakan seefisien dan seefektif mungkin. AVR mempunyai arsitektur *Havard* dimana bus memori program dan bus memori data terpisah, sehingga dapat mengakses memori data dan memori program dalam satu waktu.

Hal paling utama yang harus diperhatikan dalam manajemen memori adalah peta memori karena dari peta tersebut terlihat jelas jenis memori dan kapasitasnya.



Gambar 2.3 Peta Memori Atmega 164P

Memori Atmega secara umum terbagi tiga yaitu <sup>[2]</sup> :

a. Memori Flash

Adalah memori ROM tempat kode-kode program berada , memori flash terbagi dua bagian yaitu bagian aplikasi dan bagian *boot*. Bagian aplikasi adalah bagian tempat kode-kode aplikasi sedang bagian boot adalah bagian yang digunakan khusus untuk booting awal yang dapat diprogram untuk menulis bagian aplikasi tanpa melalui programmer/downloader, misalnya melalui USART, juga dapat digunakan sebagai tambahan program memori untuk aplikasi apabila kode program hasil kompilasi besar.

b. Memori Data

Merupakan memori RAM yang digunakan untuk keperluan program memori data , memori ini terbagi empat bagian yaitu:

32 General Purpose Register (GPR) adalah register khusus untuk membantu ALU dalam mengeksekusi program. Setiap instruksi *assembler* selalu melibatkan GPR.

I/O register dan Additional I/O register adalah register yang difungsikan khusus untuk mengendalikan berbagai periperhal dalam mikrokontroler

seperti pin port, timer/counter, usart, dan lain-lain dalam MCS51 dikenal dengan SFR (*Special Fuction Register*)

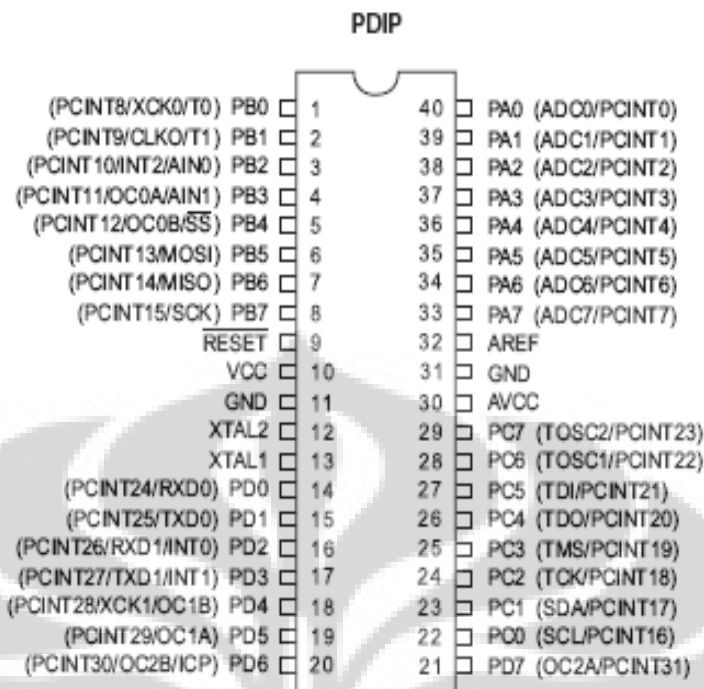
c. EEPROM

Adalah memori data yang dapat menyimpan data walaupun power supply chip mati (*non volatile*) digunakan untuk menyimpan data yang tahan terhadap gangguan catu daya.

Berikut Fitur dari ATMega164P

1. 8-bit AVR berbasis RISC dengan performa tinggi dan konsumsi daya rendah
2. Kecepatan maksimal 16 MHz, throughputs 1 MIPS per MHz
3. Memori: Non-volatile Memory
  - a. 16K Bytes memory flash dengan kemampuan Read While Write
  - b. 512 Bytes EEPROM yang dapat diprogram saat operasi
  - c. 1 KBytes Internal SRAM
4. Timer/Counter
  - a. Dua buah 8-bit timer/counter
  - b. Satu buah 16-bit timer/counter
  - c. Enam kanal PWM
5. 8 kanal 10-bit ADC
6. Dua Programable Serial USART
7. Master/Slave SPI serial Interface
8. Komparator Analog
9. 6 pilihan sleep mode untuk penghematan daya listrik
10. 32 jalur I/O yang bisa diprogram
11. Tegangan Operasi 4,5 s/d 5,5 V

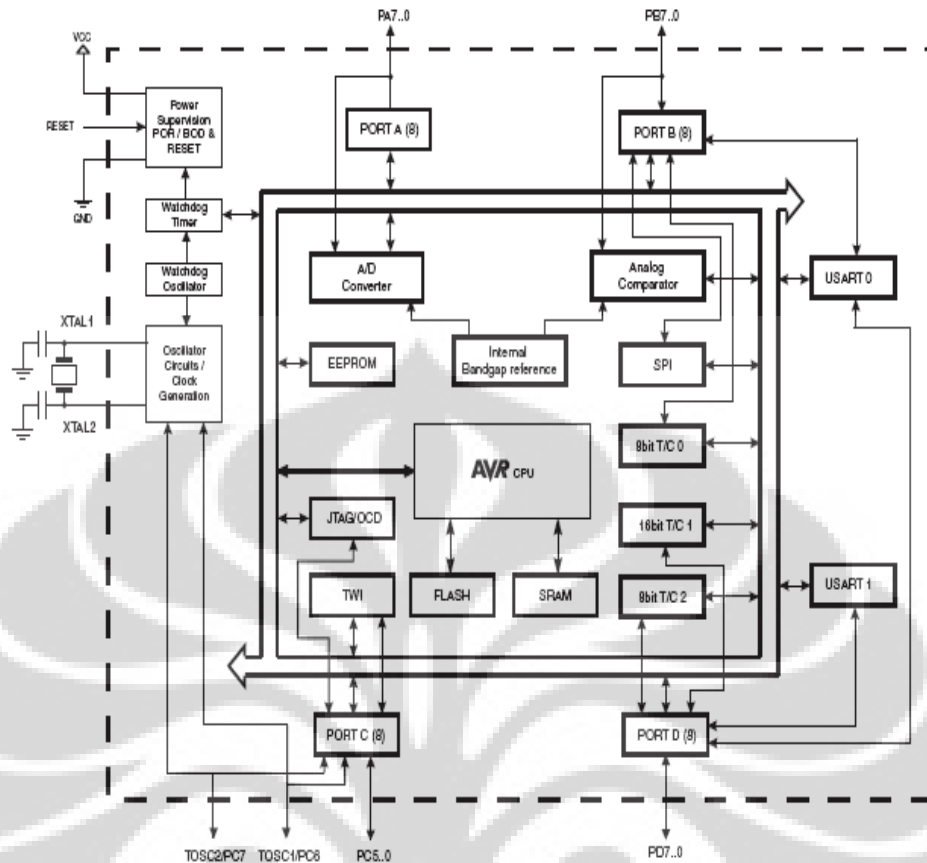




Gambar 2.4 Pinout Atmega164P<sup>[3]</sup>

#### Konfigurasi pin Atmega164P

- VCC pin catu daya biasanya 5 V
- GND sebagai pin Ground
- PortA (PA0 ...PA7) merupakan pin I/O dua arah dan dapat diprogram sebagai pin masukan ADC
- PortB (PB0 ..... PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu: Timer/Counter, Komparator Analog dan SPI.
- PortC (PC0 ..... PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu : Two Wire Interface (I2C), Komparator Analog dan Timer Osilator.
- PortD (PD0 ..... PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu: Komparator Analog, Interupsi Eksternal dan Komunikasi Serial.
- $\overline{\text{RESET}}$  merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler.
- XTAL1 dan XTAL2 sebagai pin masukan clock eksternal.
- AVCC sebagai pin masukan tegangan ADC.
- AREF sebagai pin masukan tegangan referensi analog untuk ADC



Gambar 2.5 Blok Diagram Atmega 164P [3]

#### 2.3.4 Interupsi

Sistem interupsi adalah menghentikan aliran program akibat terjadinya *trigger* tertentu dan memaksa eksekusi rutin/fungsi layanan interupsi, setelah selesai maka aliran program akan kembali ke program sebelum terjadi interupsi. Setiap interupsi mempunyai bit pengaktif di masing-masing peripheralnya, bit-I dalam SREG merupakan gerbang utama yang bertugas mengaktifkan interupsi, dengan instruksi sei (); untuk meng-set bit-I, intruksi cli (); untuk meng-clear bit-I. Layanan interupsi akan diatur sesuai prioritas dalam vector interupsi, ketika ada dua interupsi bersamaan maka yang dilayani lebih dahulu adalah interupsi dengan prioritas tertinggi, namun ketika terjadi interupsi flag/bit-I dalam SREG otomatis clear hingga fungsi layanan interupsi habis, lalu otomatis set kembali. Hal ini berakibat ketika sedang mengeksekusi layanan interupsi tidak bisa diinterupsi oleh interupsi lain walaupun prioritasnya lebih tinggi. Pada Atmega 164P memiliki 27 vector interupsi, dengan priritas tertinggi ada pada vector no1 dengan alamat

terendah \$0000 yaitu Reset dan diikuti dengan INT0, INT1, INT2 yang kesemuanya merupakan interupsi eksternal, sedang prioritas terendah adalah vector no 27 dengan alamat \$0032 yaitu TWI ( 2-Wire Serial Interface)

### 2.3.5 Timer/Counter

*Timer/Counter* merupakan fungsi umum single channel. *Timer/Counter 0* adalah sebuah *timer/counter* yang dapat mencacah 8-bit sumber pulsa/clock baik dari dalam *chip* maupun dari luar *chip* (*counter*). *Timer/counter 1* adalah sebuah timer /counter yang mempunyai kapasitas cacahan 16-bit (65535) baik pulsa /clock hingga 10- bit (1024). *Timer/counter 2* adalah sebuah timer/counter yang dapat mencacah 8-bit sumber pulsa/clock yang beroperasi secara *asynchronous* dan PWM

### 2.3.6 ADC 10-bit

Analog to Digital Converter (ADC) berupa 10-bit successive approximation ADC dengan fitur sebagai berikut:

ADC Atmega164P dengan resolusi 10 bit , akurasi  $\pm 2$  LSB, dan waktu konversi 65-260  $\mu$ s. Sinyal input dari pin ADC akan dipilih oleh multiplexer (register ADMUX) untuk diproses oleh ADC hal ini disebabkan converter pada mikrokontroler hanya ada satu sedangkan saluran inputnya ada delapan. ADC juga mempunyai rangkaian cuplik dan tahan (*sample and hold*) untuk menjamin *input* ADC konstan selama proses konversi berlangsung. Dalam operasi ADC membutuhkan tegangan refrensi ( $v_{ref}$ ) dan clock  $F_{adc}$  (register ADCSRA), tegangan refrensi eksternal pada pin AREF tidak boleh melebihi AVCC. Mikrokontroler juga telah menyediakan tegangan refrensi internal sebesar 2,56V. ADC mengkonversi tegangan input analog menjadi bilangan digital selebar 10-bit. GND (0 Volt) merupakan nilai minimum dan AREF merupakan nilai maksimum dikurangi 1 LSB. Hasil konversi ADC disimpan dalam register pasangan ADCH:ADCL.

Nilai resolusi sinyal input ADC dengan lebar 10-bit (1024) dirumuskan:

$$Res = \frac{Aref}{2^n - 1} = \frac{Aref}{2^{10} - 1} = \frac{Aref}{1023} \quad 2.16$$

### 2.3.7 USART

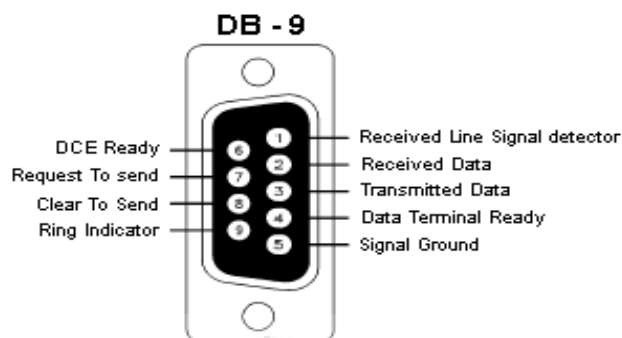
*Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter* (USART) merupakan sarana komunikasi serial yang sangat fleksibel. Mikroprosesor mengolah data secara paralel, maka proses transfer data secara seri harus diawali dan diakhiri dalam bentuk data paralel, artinya data dari mikroprosesor yang bentuknya paralel diubah menjadi data seri, dikirim demikian juga saat menerima data seri diubah lagi ke bentuk paralel. Transmisi data seri dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu komunikasi data seri sinkron dan komunikasi data seri asinkron, perbedaan keduanya terletak pada clock pendorong data. Dalam komunikasi data seri sinkron clock untuk shift register ikut dikirim bersama dengan data seri, sedangkan pada komunikasi data seri asinkron, clock pendorong shift register tidak ikut dikirim rangkaian penerima data harus dilengkapi dengan rangkaian yang mampu membangkitkan clock yang diperlukan. Komponen yang melaksanakan tugas ini pada mikroprosesor dikenal dengan saluran Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART).

Kecepatan transmisi (*baud rate*) dapat dipilih bebas dalam rentang tertentu, Baud rate yang dipakai adalah 110, 135, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, dan 9600 (bit/detik). Dalam komunikasi data serial, baud rate dari kedua alat yang berhubungan harus diatur pada kecepatan yang sama. Ketentuan panjang data (6, 7, atau 8 bit), paritas (genap, ganjil atau tanpa paritas) dan jumlah bit 'Stop' (1, 1½, atau 2 bit).

Ada 2 jenis type port serial yaitu:

1. D-Type 25 pin connector
2. D-Type 9 pin connector

Berikut gambar konektor port serial DB-9 :



Gambar 2.6 Konfigurasi pin DB-9

Tabel 2.1. Pin dan nama sinyal konektor serial DB-9

Nomor PIN DB-9	Nama Sinyal	Arah	Keterangan
1	DCD	In	Data Carrier Detect
2	RxD	In	Receive Data
3	TxD	Out	Transmit Data
4	DTR	Out	Data Terminal Ready
5	GND	-	Ground
6	DSR	In	Data Set Ready
7	RTS	Out	Request to Send
8	CTS	In	Clear to Send
9	RI	In	Ring Indicator

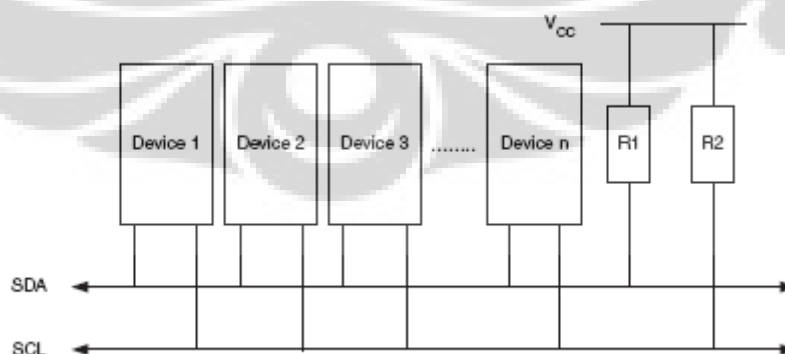
Fungsi masing-masing pin:

1. DCD Ketika modem mendeteksi "Carrier" jalur ini menjadi aktif, dengan saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa pada terminal masukan ada data masuk.
2. RD Masukan data serial (RxD) digunakan DTE untuk menerima data dari DCE.
3. TD Keluaran data serial (TxD) digunakan DTE untuk mengirimkan data ke DCE.
4. DTR Kebalikan dari DSR yaitu memberitahu modem bahwa UART siap untuk dihubungi. Pada saluran ini DTE memberitahukan kesiapan terminalnya.
5. GND Saluran ground.

6. DSR Memberitahu UART bahwa modem telah siap untuk membentuk suatu hubungan. Sinyal aktif pada saluran ini menunjukkan bahwa DCE sudah siap.
7. CTS jalur ini menunjukkan bahwa Modem sudah siap untuk menukar data. Dengan saluran ini DCE memberitahukan bahwa DTE boleh mulai mengirim data.
8. RTS Jalur ini menginformasikan Modem bahwa UART siap untuk menukar data. Dengan saluran ini DCE diminta mengirim data oleh DTE.
9. RI Menjadi aktif ketika modem mendeteksi suatu isyarat bunyi dari PSTN. Pada saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa sebuah stasiun menghendaki hubungannya.

### 2.3.8 2-Wire Serial Interface/I2C

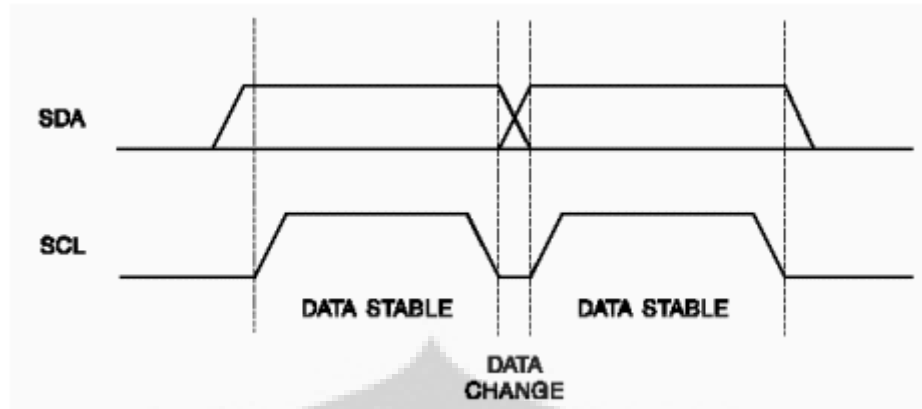
2-Wire Serial Interface (TWI) merupakan komunikasi inter IC (I2C) yang sangat cocok untuk aplikasi mikrokontroler. I2C Yang dikembangkan oleh Philips Semiconductor pada tahun 1980-an merupakan sistem bus Inter-IC yang menyediakan jalur komunikasi serial antar IC dalam suatu sistem sehingga IC dalam seluruh sistem dapat berkomunikasi dengan baik. TWI memungkinkan desainer untuk menghubungkan 128 divais hanya dengan dua jalur bus dua-arah, satu sebagai jalur clock (SCL) dan satu lagi sebagai jalur data (SDA), masing-masing bus di *pull-up* ke VCC.



Gambar 2.7 Interkoneksi TWI Bus <sup>[3]</sup>

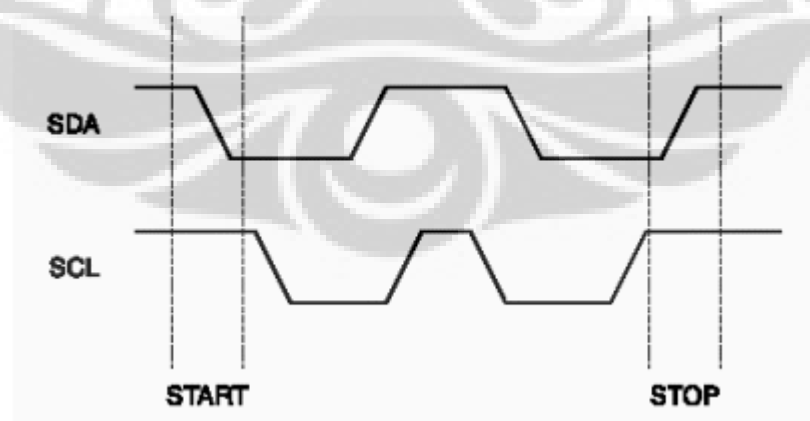
Komunikasi antarmuka dengan menggunakan protokol I2C mempunyai kelebihan utama yaitu sistem bus I2C ini hanya menggunakan dua kabel komunikasi dua arah (*bidirectional*) sehingga jalur antar IC menjadi sederhana serta bisa menghemat luasan PCB. Kedua jalur pada I2C yaitu Serial Data Line (SDA) dan Serial Clock Line (SCL). I2C merupakan serial bus dengan orientasi data 8 bit (1byte), dengan kecepatan transfer data sampai 100Kbit/s pada mode standard, 400Kbit/s pada mode cepat, dan 3,4 Mbit/s pada mode kecepatan tinggi. Jumlah IC yang dapat dihubungkan pada I2C bus hanya dibatasi oleh beban kapasitansi pada bus yaitu maksimum 400pF. Kaki SDA secara normal di-*pullup* dengan resistor ke suplai positif dari sistem sedang semua divais yang terhubung harus terhubung pada ground yang sama sebagai referensi. Data pada kaki SDA ini hanya boleh berubah pada saat periode rendah (*low*) dari *clock*. Jika perubahan data ini terjadi pada saat *clock* tinggi, maka ini akan mengindikasikan kondisi *start* dan *stop* dari transmisi data serial.

*Interface* dengan sistem bus I2C (*Inter-Integrated Circuit*), terdiri dari sebuah piranti yang mengirimkan sinyal ke sistem bus I2C disebut dengan *transmitter* dan sebuah piranti yang menerima sinyal disebut dengan *receiver*. Sebuah piranti yang mengontrol pengiriman sinyal beserta *clock*-nya disebut dengan *master*, sedangkan piranti yang dikontrol oleh *master* disebut dengan *slave*. Piranti *master* dapat mengirim dan menerima sinyal dari sebuah piranti *slave* atau dapat mengontrol transfer sinyal antar piranti *slave* di mana piranti *slave* yang satu bertindak sebagai *transmitter* dan yang lain sebagai *receiver*. Setiap IC yang terhubung dalam I2C memiliki alamat yang unik yang dapat diakses secara software dengan master/slave protokol yang sederhana



Gambar 2.8. Operasi kerja I2C <sup>[3]</sup>

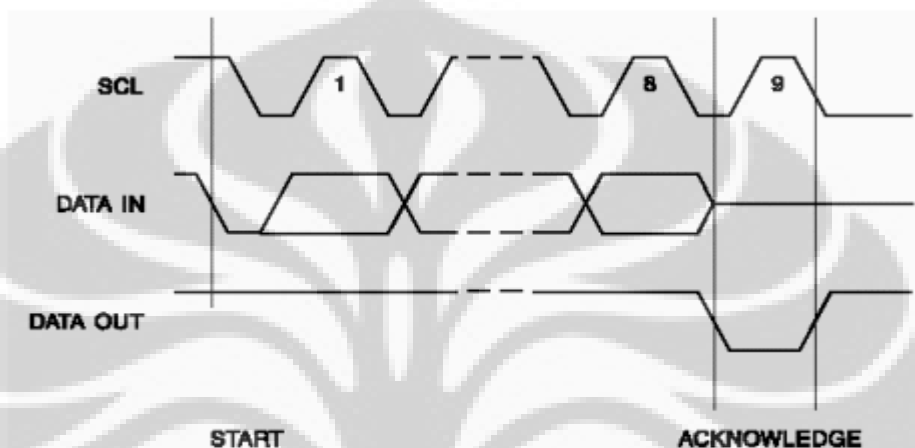
Kondisi *start* dapat dipenuhi bila ada transisi dari tinggi ke rendah dari SDA pada saat SCL dalam kondisi logika 1. Kondisi *start* ini harus berada di awal setiap perintah yang dikirimkan. Kondisi *stop* dipenuhi bila ada transisi rendah ke tinggi dari SDA pada saat SCL dalam kondisi logika 1. Data bit dikirim/diterima melalui SDA, sedangkan sinyal clock dikirim/diterima melalui SCL, dimana dalam setiap transfer data bit satu sinyal clock dihasilkan, transfer data bit dianggap valid jika data bit pada SDA tetap stabil selama sinyal clock high, data bit hanya boleh berubah jika sinyal clock dalam kondisi low. Kondisi *start* dan *stop* selalu dibangkitkan oleh Master, dan bus dikatakan sibuk setelah start dan dikatakan bebas setelah stop.



Gambar 2.9. Kondisi Start dan Stop <sup>[3]</sup>



Kondisi *Acknowledge* (*ack*) terjadi apabila receiver “menarik” SDA pada kondisi low selama 1 sinyal clock atau receiver mengirimkan sebuah logika nol pada siklus clock yang kesembilan sebagai pemberitahuan bahwa dia telah menerima data tiap word dengan baik, sedang kondisi *Negative Acknowledge* (*nack*) terjadi apabila receiver “membebaskan” SDA pada kondisi high selama 1 sinyal clock atau setiap kali receiver gagal menerima data .

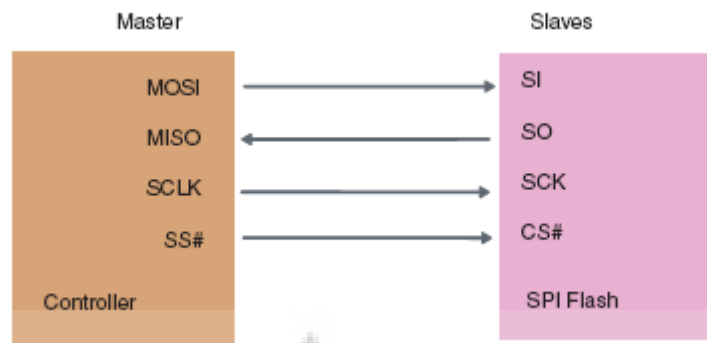


Gambar 2.10 Kondisi Acknowledge <sup>[3]</sup>

I2C Bus berorientasi pada 8 bit data (byte), dengan Most Significant Bit (MSB) ditransfer terlebih dahulu

### 2.3.9 SPI (Serial Peripheral Interface ) Bus

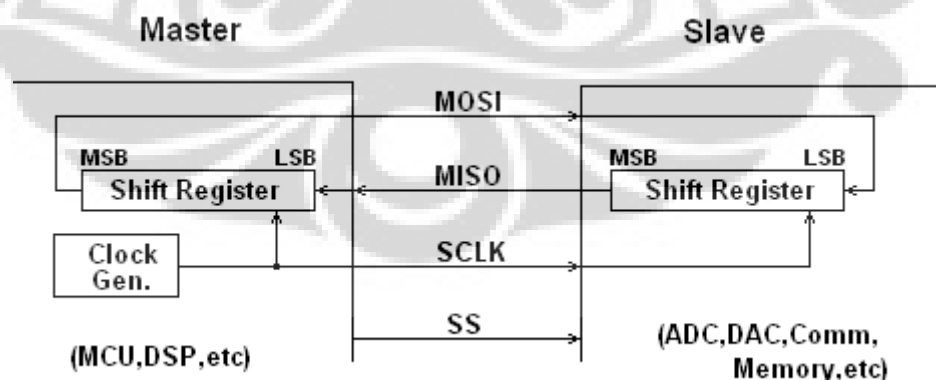
SPI merupakan salah satu metode pengiriman data dari suatu divais ke divais lain yang bekerja dengan metode full duplex dan juga merupakan standar sinkronisasi *serial data link* yang dikembangkan oleh *Motorola*. Pada SPI, divais dibagi menjadi dua bagian yaitu *master* dan *slave*. Kadang-kadang SPI disebut juga dengan “*four wire*” *serial bus* untuk membedakan dengan bus serial tiga, dua, dan satu kabel.



Gambar 2.11. Pin-pin penghubung SPI serta arah komunikasi

Komunikasi serial data antara master dan slave pada SPI diatur melalui empat buah pin yaitu:

- MOSI (*Master Output Slave Input*) merupakan jalur data pada saat data keluar dari master dan masuk kedalam slave
- MISO (*Master Input Slave Output*) merupakan jalur data yang keluar dari slave dan masuk ke dalam master.
- SCLK (*Serial CLOCK*) merupakan data biner yang keluar dari master ke slave dan berfungsi sebagai *clock* dengan frekuensi tertentu.
- SS (*Slave Select*) merupakan pin yang berfungsi untuk mengaktifkan slave, dan pengiriman data dapat dilakukan bila slave dalam keadaan aktif (*active low*)



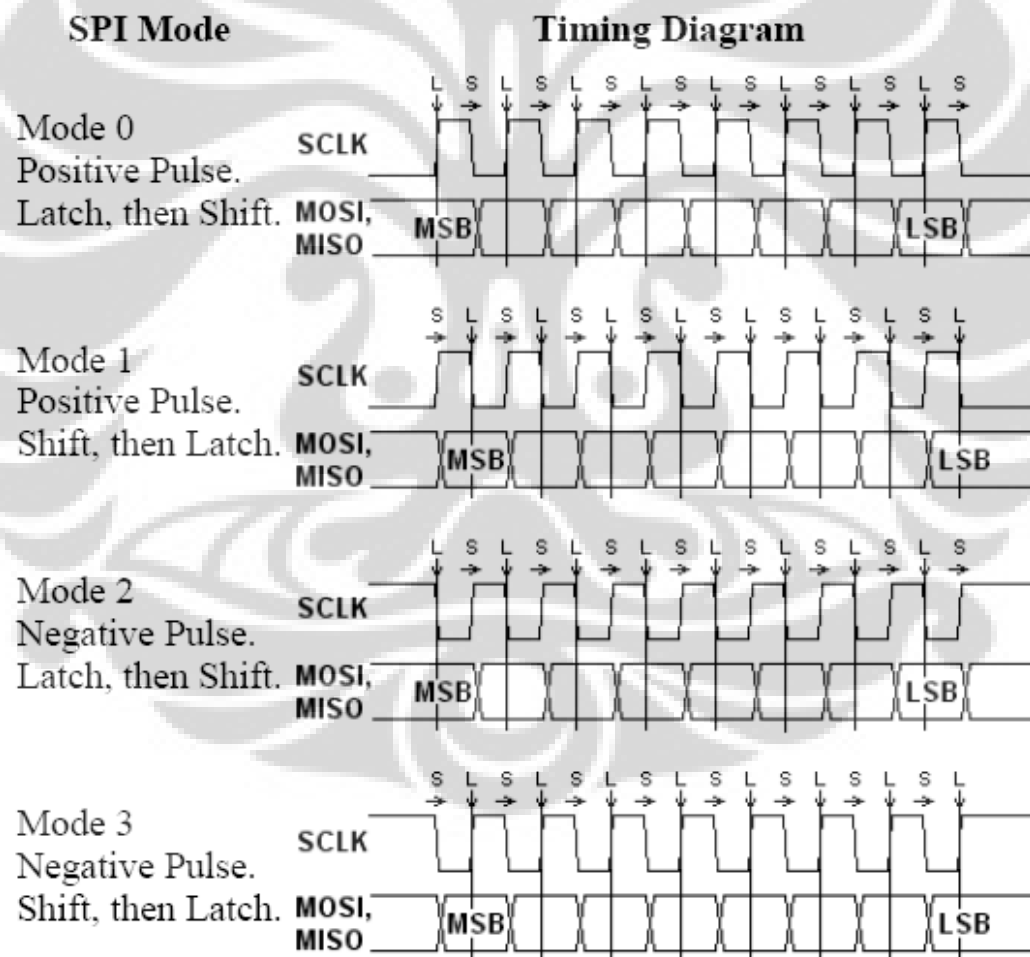
Gambar 2.12 Prosedur operasi SPI <sup>[3]</sup>

Komunikasi data SPI dimulai pada saat master mengirim clock melalui SCLK dengan frekuensi lebih kecil atau sama dengan frekuensi maksimum slave.

Kemudian master memberikan logika nol pada SS untuk mengaktifkan slave, sehingga pengiriman data siap dilakukan. Pada saat siklus clock terjadi transmisi data full duplex terjadi dengan dua keadaan sebagai berikut:

- Master mengirim sebuah jalur bit pada jalur MOSI, slave membacanya pada jalur yang sama.
- Slave mengirim sebuah bit pada jalur MISO, master membaca pada jalur yang sama.

Transmisi ini dapat terjadi pada beberapa clock dan jika tidak ada data maka master akan menghentikan clock.



Gambar 2.13 Mode dan diagram pewaktuan SPI <sup>[3]</sup>

Diagram pewaktuan (*timing diagram*) SPI dimulai pada saat SS *low*, pada saat tersebut siklus *clock* (*cycle #*) dimulai, pada Gambar 2.13 di atas dalam satu siklus

terdapat 8 bit pengiriman data. MISO/MOSI mulai mengirim data, dimulai dari MSB (*Most Significant Bit*) dan pada saat clock berubah maka proses pengiriman data bit yang lebih rendah dilanjutkan. Proses tersebut berlangsung hingga data selesai dengan mengirimkan LSB (*Least Significant Bit*) dan siklus *clock* berakhir serta SS kembali dinon-aktifkan (*high*). Pada saat ini biasanya *slave* mengirimkan *interrupt* ke *master* yang mengindikasikan bahwa pengiriman data telah selesai dan siap untuk mengirimkan data selanjutnya

#### 2.4. Komunikasi

Untuk membangun sistem aws yang terintegrasi maka data dari aws mutlak dibutuhkan sarana komunikasi, saat ini telah tersedia banyak pilihan komunikasi antara lain dengan menggunakan saluran langsung melalui kabel untuk daerah yang dekat dengan lokasi aws, namun untuk sistem remote dapat menggunakan radio, GPRS (*General Packet Radio Service*), GSM (*Global System for Mobile Communication*), dan VSAT (*Very Small Aperture Terminal*).

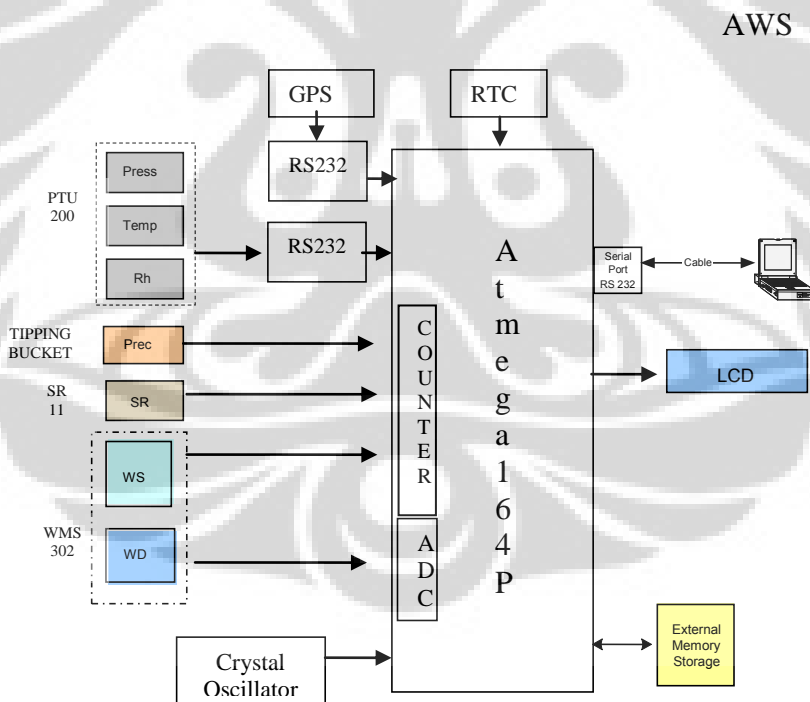
## BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Bab 3 menjelaskan secara detail mengenai hardware, mulai dari blok diagram AWS, mikrokontroler yang digunakan beserta rangkaian sistem AWS dan spesifikasi sensor yang digunakan, juga menjelaskan sistem komunikasi yang digunakan dalam rangkaian.

### 3.1 Hard Ware

#### 3.1.1 Blok diagram dasar automatic weather station

Sistem AWS ini dibuat dalam beberapa bagian sebagaimana terlihat dalam blok diagram di bawah ini. Sistem ini terdiri dari mikrokontroller, rangkaian input Sensor, Real Time Clock (RTC), receiver GPS, MMC sebagai media penyimpanan, rangkaian komunikasi serial RS-232, rangkaian display, serta rangkaian pendukung lainnya sebagaimana terlihat pada diagram blok berikut :



Gambar 3.1 Diagram Blok AWS

#### 3.1.2 Mikrokontroler

Pada perancangan AWS ini menggunakan Mikrokontroler Atmega164P produk Atmel, yang didasarkan dengan kebutuhan sistem yang dibangun serta

biaya yang minimal menjadi alasan utama pemilihan jenis Atmega164P. Data hasil pengukuran sensor dimasukkan ke mikrokontroler lalu diproses kemudian akan menghasilkan output sesuai instruksi yang diberikan dalam mikrokontroler. Di dalam ATmega164P sudah terdapat rangkaian Analog to Digital Converter (ADC) 10 bit yang akan mendigitasi masukan sinyal analog dari sensor arah angin menjadi sinyal digital. Mikrokontroler ini juga dilengkapi dengan Timer/counter yang akan menghitung pulsa yang dihasilkan oleh output dari sensor hujan, sensor kecepatan angin, dan sensor matahari, juga memiliki dua buah komunikasi serial. Satu buah komunikasi serial RS-232 digunakan untuk input ke mikrokontroler output dari PTU200 yang terdiri dari sensor Suhu, Tekanan, Suhu, dan Kelembaban, sedang serial yang lain digunakan untuk komunikasi dari aws ke PC dan GPS secara bergantian. Atmega164P menggunakan frekuensi 8 MHz dengan catu daya 2.7 s/d 5.5 V.

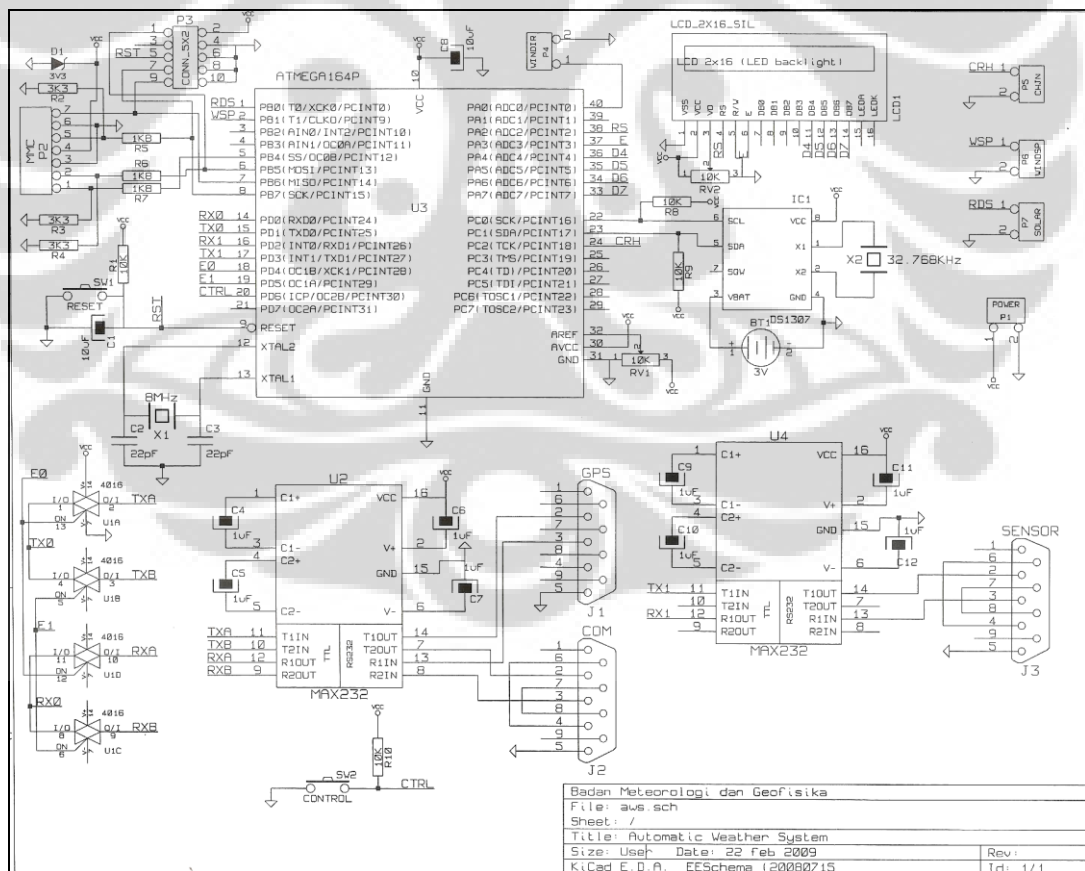
Rangkaian input /output pada mikrokontroler terdiri dari dua bagian yaitu :

- a. Rangkaian input pada sisi mikrokontroler adalah :
  - Penghitung jumlah pulsa (Counter) yang berasal dari sensor dengan output berbentuk pulsa,
  - Peubah sinyal analog ke sinyal digital (A/D converter) untuk sensor analog.
  - Sistem kontrol data/address
  - Rangkaian multiplekser untuk memilih kanal data input
  - Tombol pemilih menu pada *Liquid Crystal Display* (LCD)
- b. Rangkaian output pada sisi mikrokontroler adalah :
  - Serial output RS-232 untuk komunikasi dengan komputer, Sensor, dan GPS
  - LCD - alat peraga data/keypad
  - MMC – untuk menyimpan data

### 3.1.3 Rangkaian sistem aws

Rangkaian sistem aws yang berbasis mikrokontroler ini sangat sederhana dengan beberapa komponen pendukung yaitu :

- 1 buah Clock eksternal 8 MHz untuk clock mikrokontroler untuk mengatur siklus pada eksekusi program.
- 1 buah RTC DS1307 dengan Clock 32.768KHz sebagai sumber penanggalan dan sistem pewaktu.
- 2 buah Max232 sebagai interface pada komunikasi serial RS-232
- 1 buah IC switch 4016 untuk mengatur alur dari RX,TX dua buah RS-232 yang masuk ke mikrokontroler.
- 1 buah Tombol reset untuk reset sistem bila terjadi hang.
- 1 buah LCD 16x2 sebagai tampilan.
- 1 buah Port MMC untuk media penyimpanan data.
- Port I/O serta konektor serial RS-232
- Beberapa buah resistor dan kapasitor sebagaimana terlihat pada Gambar 3.2 di bawan ini.



Gambar 3.2 Rangkaian AWS

### 3.1.4 Sensor

Sensor merupakan bagian yang sangat penting dari system automatic weather station, kualitas sensor sangat menentukan mutu data yang dihasilkan, sehingga pemilihan sensor merupakan suatu hal yang perlu mendapat perhatian serius karena saat ini begitu banyaknya sensor yang ada dipasaran yang dapat mengukur unsur-unsur cuaca tetapi sedikit yang sudah teruji dilapangan. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor buatan pabrik yang sudah umum dipakai di bidang meteorologi yang terdiri dari:

#### a. Sensor tekanan udara

Sensor tekanan udara menggunakan Barocap dengan spesifikasi sebagai berikut:

Pressure sensor	: BAROCAP
Supply Voltage	: 7 to 35 VDC
Measuring range	: 500...1100 hPa
Accuracy at + 20 <sup>0</sup> C	: 0.10 hPa
Total Accuracy	: 0.15 hPa (-40 <sup>0</sup> C .... + 60 <sup>0</sup> C)

Barocap bekerja dengan menggunakan sifat kapasitif dimana dua lempeng silicon tipis yang berfungsi sebagai diafragma, bila terjadi perubahan tekanan udara maka jarak kedua lempeng akan berubah, perubahan nilai kapasitansi tersebut menyatakan perubahan tekanan atmosfer. Sensor tekanan udara merupakan bagian dari PTU200 yaitu berupa smart sensor yang keluarannya sudah berupa sinyal digital sehingga output dari sensor ini bisa dihubungkan langsung dengan RS-232

#### b. Sensor temperature

Sensor temperatur menggunakan Pt 100, IEC 751 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Temperatur sensor	: Pt 100, IEC 751
Supply Voltage	: 7 to 35 VDC
Measuring range	: - 39.2 <sup>0</sup> C to + 60 <sup>0</sup> C
Output scale	: - 40 <sup>0</sup> C to + 60 <sup>0</sup> C



Accuracy at 20<sup>0</sup> C : ± 0.2<sup>0</sup> C

Equals 0 ... 1 VDC

Output Signal : Resistive 4 wire

c. Sensor kelembaban udara

Sensor kelembaban udara menggunakan Humicap 180

Humidity sensor : HUMICAP 180

Supply Voltage : 7 to 35 VDC

Measuring range : 0.8 to 100 % RH

Output scale : 0 ... 100 % RH

Accuracy at + 20<sup>0</sup> C : ± 1 % RH  
equals 0 ... 1 VDC

Output Signal : Resistive 4 wire

d. Sensor arah angin

Sensor arah angin menggunakan wind vane type two wiper Potensiometer outputnya berupa besaran analog.

Wind direction sensor type : Potensiometer

Range : 0 ..... 360<sup>0</sup>

Output : Analog

Dir1 dan Dir2 : 0 – 5 Volt

Accuracy : Better than ± 3.0<sup>0</sup>

Input operating supply : 3 .... 15 VDC

Operating temperatur : - 40 ..... 55<sup>0</sup> C

Output sensor Dir1 0 Volt pada posisi Utara dan 5 Volt pada posisi Selatan sedang output Dir2 0 Volt pada posisi Timur dan 5 Volt pada posisi Barat, kedua output ini diumpankan ke ADC untuk mendapatkan output digital berupa arah angin 360<sup>0</sup> menyatakan arah angin dari Utara, 90<sup>0</sup> menyatakan arah angin dari arah dari Timur, 180<sup>0</sup> menyatakan arah angin dari Selatan, dan 270<sup>0</sup> menyatakan arah angin dari Barat, dengan resolusi 1<sup>0</sup>

e. Sensor kecepatan angin

Sensor kecepatan angin menggunakan wind cup anemometer type Dual reed switch, outputnya sensor berupa sinyal berbentuk pulsa dan dihubungkan ke frequency counter.

Wind speed sensor type : Dual reed switch

Range : 0.5 ..... 60 m/s  
 Output : Pulsa  
 1 Hz ~ 0.7 m/s

Accuracy (0.4 ...60 m/s)

Wind speed up to 10 m/s :  $\pm 0.3$  m/s

Wind speed over 10 m/s :  $\pm 2$  %

f. Sensor penyinaran matahari

Sensor penyinaran matahari menggunakan Photovoltaic Cell untuk mengukur intensitas penyinaran matahari hingga 1500 Watts/m<sup>2</sup> dengan deviasi maksimum 1% outputnya sudah berupa pulsa

Sensing element : Photovoltaic Cell

Measurement unit : Watts /m<sup>2</sup> (intensity)  
 Joules /m<sup>2</sup> (energy)

Linearity : Max. deviation of 1 % up to 1500 watts/m<sup>2</sup>

Temp. Stability : Less than 2 % change over 1 year

Supply Voltage : 5.5 to 7 VDC

Current Drain : < 0.1 mA

Output : + 5 Volt Pulse

Output (Joules/pulse) : 5

g. Sensor curah hujan

Sensor curah hujan menggunakan tipe tipping bucket rain gauge dengan output sensor berupa pulsa yang dihubungkan ke counter.

Receiver : 200 mm  $\pm 0.3$  diameter with machined aluminium rim

Sensitivity : One tip at 0.2 mm

Measuring range : 0 – 500 mm/hr

Measuring accuracy : Better than 2 % @ 100 mm/hr

Sensor : Tipping bucket with syphon

Contact System : Dual reed switch (make contact)

Contact Capacity : 12VA (0.5 amp max.)

Contact Time : 0.1 second

Height : 342 mm

Mass : 3 kg



dipilih data dengan rangkaian informasi yang fix yang dikenal dengan sentences seperti berikut:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

Kelompok pertama merupakan header (\$GPGGA), diikuti dengan waktu standar (123519) menyatakan jam:12:35:19 UTC, diikuti dengan informasi posisi Lintang (4807.038,N) menyatakan Lintang 48° 07,038' Utara, kemudian informasi Bujur (01131.000,E) menyatakan Bujur 011°31,000' Timur, (1) menyatakan GPS Fix, (08) menyatakan jumlah satelit yang akan di track, (0.9) posisi horizontal dilution, (545.4,M) menyatakan elevasi dalam meter, (46.9,M) ketinggian geoid dalam meter, (\*47) cek sum data.

Penentuan posisi awas saat beroperasi sangat diperlukan untuk keperluan analisa data, posisi dimaksud berupa koordinat (Lintang dan Bujur) serta elevasi stasiun. GPS juga berfungsi sebagai koreksi waktu operasional terhadap waktu standar yang akan mengoreksi waktu yang dihasilkan oleh rangkaian RTC.

### 3.1.7 Media Penyimpanan

Data unsur cuaca hasil pengukuran sensor harus tersimpan dengan baik untuk dapat diolah kembali sesuai kebutuhan, data-data tersebut akan tersimpan secara otomatis pada memori data pada mikrokontroler, namun karena keterbatasan kapasitas memori pada mikrokontroler sehingga diperlukan media lain berupa *Multimedia Card* (MMC) dengan kapasitas yang cukup besar (Giga bites) sehingga berfungsi sebagai logger, dan data ini dapat down load atau dikirim ke komputer lain melalui modem GSM (SMS), modem radio UHF, maupun RS-232/USB (kabel) untuk selanjutnya diproses sesuai kebutuhan.

### 3.1.8 Komunikasi antar muka

#### 3.1.8.1 Komunikasi antar IC

Pada perancangan ini digunakan dua jenis interface komunikasi serial antar IC yaitu:

##### a. Inter -Integrated Circuit (I2C)

I2C digunakan sebagai protokol komunikasi antara Mikrokontroler Atmega 164P sebagai *master* dan RTC (DS1307) sebagai *slave*

##### b. Serial Peripheral Interface (SPI)

Protokol SPI digunakan sebagai komunikasi antarmuka antara Mikrokontroler Atmega164P sebagai Master dan Multi Media Card (MMC) sebagai slave

### 3.1.8.2 Komunikasi antar periperal

Komunikasi antar muka sistem Mikrokontroler dengan sistem diluarnya seperti GPS, PC, dan beberapa bisa berkomunikasi dengan perangkat pendukung lainnya menggunakan komunikasi serial standard EIA RS232, Standar ini hanya menyangkut komunikasi data antara : Mikroprosesor (Data Terminal Equipment – DTE) dengan peralatan pendukung AWS (Data Circuit-Terminating Equipment – DCE).

Standard sinyal pada RS-232C adalah sebagai berikut:

1. Logika '1' => 'mark' => -3 s/d -25 Volt.
2. Logika '0' => 'space' => +3 s/d +25 Volt.
3. Daerah antara + 3 dan - 3 volt adalah daerah tak tergambar.
4. Suatu sirkuit terbuka tegangannya tidak pernah melebihi 25 volt.
5. Arus hubung singkat tidak melebihi 500mA.

Tegangan antara -3 hingga +3 Volt merupakan invalid level, yaitu daerah tegangan yang tidak memiliki level logika pasti sehingga harus dihindari. Demikian juga, level tegangan lebih negatif dari -25 Volt atau lebih positif dari +25 Volt juga harus dihindari karena tegangan tersebut dapat merusak line driver pada saluran RS-232. Mengingat komponen digital pada umumnya bekerja dengan sumber tegangan +5Volt , dan level logika '0' dinyatakan dengan tegangan 0 s/d 0,8 Volt dan logika '1' dinyatakan dengan level tegangan 3,5 s/d 5 Volt maka antara rangkaian digital dengan RS-232 diperlukan Voltage Translator dalam rangkaian ini digunakan IC MAX232 . Dalam saluran RS-232 level logika ditransmisikan sebagai perbedaan tegangan antara saluran dan Ground yang dikenal dengan *unbalanced transmission*.

## 3.2 Software

Seluruh sistem dalam aws ini bekerja dengan kendali dari mikrokontroler dan komputer, sehingga diperlukan suatu program pengendali agar sistem dapat bekerja dengan baik. Pada sisi mikrokontroler digunakan bahasa c untuk avr

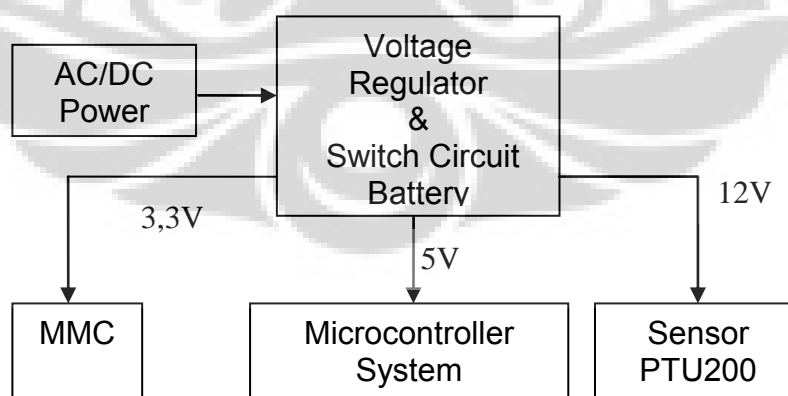
studio sedang pada sisi komputer untuk display menggunakan LabView 8.2 20<sup>th</sup> Anniversary Edition.

### 3.3 Power

Power (catu daya listrik) merupakan hal yang sangat penting dalam sistem aws sebagai sumber daya untuk aws dan sistem komunikasi. Sumber daya listrik pada aws ini dirancang sedemikian rupa sesuai penggunaan antara lain 3,3 V untuk MMC, 5 V untuk mikrokontroler dan Sensor Arah dan kecepatan Angin serta GPS, 6 V untuk Sensor Energi Matahari, dan 12 V untuk PTU 200 yang diatur oleh *regulator/divider voltage*. Untuk kelancaran operasi di lapangan diperlukan beberapa pilihan sesuai kondisi di lapangan, dan bila yang satu tidak tersedia maka pilihan lain tersedia untuk kesinambungan operasional

- Sumber tegangan AC dari jaringan PLN
- Battery rechargeable 12V– sumber listrik cadangan bila matahari tidak ada.
- Solar Sell Arrays* atau Panel Surya - sumber energi listrik dari matahari sebagai pilihan lain yang saat ini sudah banyak tersedia.

Ketersediaan catu daya listrik secara terus menerus merupakan suatu tuntutan untuk kesinambungan data sehingga selain catu daya listrik PLN bila tersedia, harus disediakan catu daya listrik dari matahari berupa panel sel surya dan *battery backup*



Gambar 3.3. Diagram Blok Sistem Catu Daya

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Proses Kalibrasi

Sebelum alat diujicoba maka terlebih dulu dilakukan kalibrasi, kalibrasi mutlak dilakukan untuk semua alat ukur yang baru, untuk melihat sampai sejauh mana tingkat kedekatan hasil pengukuran alat yang baru tersebut dengan alat standar yang ada. Dari hasil kalibrasi diperoleh suatu nilai koreksi beserta angka ketidapastiannya. Sistem AWS pada penelitian ini di Kalibrasi di Laboratorium kalibrasi BMG yang telah mendapatkan ISO 17025: 2005 dari Komite Akreditasi Nasional (KAN).

Dengan terlebih dulu menentukan set point sebagai titik sample, lalu dilakukan pengukuran berulang minimal empat kali kemudian ditentukan nilai maksimum, minimum, nilai rata-rata, serta standar deviasi. Dari masing-masing set point dihitung nilai ketidapastiannya yang merupakan gabungan dari beberapa sumber ketidakpastian yaitu :

1. Dari pengulangan Repeatability pengukuran yang dilakukan ( $U_{rep}$ ).
2. Dari sertifikat kalibrasi termometer digital standar yang digunakan ( $U_{sertif}$ ).
3. Dari drift alat standar yang digunakan ( $U_{drift}$ )
4. Dari repeatability pembacaan alat standar ( $U_{rep\ std}$ )
5. Dari repeatability pembacaan alat yang akan dikalibrasi ( $U_{rep\ alat}$ )
6. Dari kemampuan baca operator ( $U_{daya\ baca}$ )
7. Dari inhomogenitas media yang digunakan ( $U_{inhomogenitas}$ ) atau Stabilitas alat ( $U_{stabilitas}$ )

Hasil kalibrasi masing-masing sensor adalah sebagai berikut:

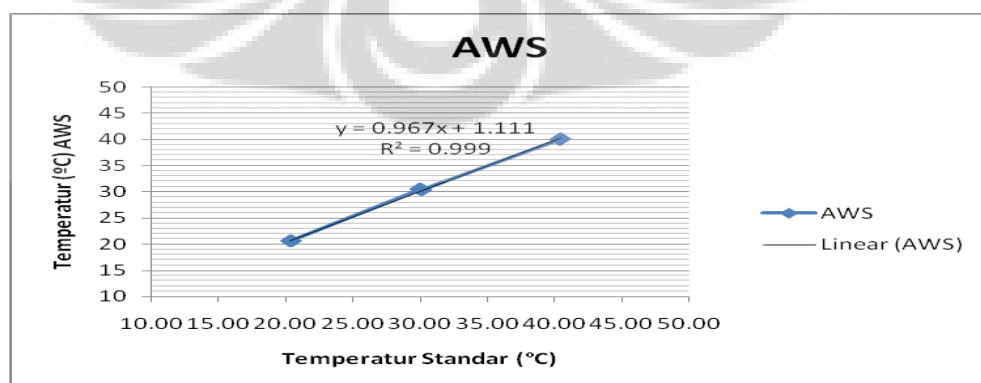
##### 4.1.1 Kalibrasi Temperatur

Kalibrasi Temperatur dilakukan dalam *chamber* yang temperaturnya bisa diset. Sensor aws ditempatkan sedemikian berdampingan dengan alat ukur temperatur standar menggunakan HMP 41 No.B4630014. Pada proses ini ditentukan empat buah titik sampel (*Set Point*) yaitu 20°C, 30°C, dan 40°C yang mewakili wilayah pengukuran temperatur udara permukaan tempat aws dioperasikan. Dari Tabel 4.1 dibuat grafik hubungan data AWS dengan alat

standar sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1, dari gambar tersebut terlihat suatu korelasi yang sangat kuat ( $R^2=0,999$ ) dengan persamaan regressi  $y= 0,967x + 1,111$ .

Tabel 4.1 Data Kalibrasi Temperatur

Set Point	Standar			AWS	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Temperatur			
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
20 °C	20.4	-0.020	20.380	20.7	-0.320	
	20.5	-0.020	20.480	20.7	-0.220	
	20.3	-0.020	20.280	20.7	-0.420	
	20.4	-0.020	20.380	20.6	-0.220	
	T max		20.480	20.7		
	T min		20.280	20.6		
	rata -rata		20.380	20.7	-0.295	0.096
30 °C	30.0	-0.024	29.976	30.5	-0.524	
	30.1	-0.024	30.076	30.5	-0.424	
	30.2	-0.024	30.176	30.4	-0.224	
	30.2	-0.024	30.176	30.4	-0.224	
	T max		30.180	30.5		
	T min		29.980	30.4		
	rata -rata		30.101	30.5	-0.349	0.150
40 °C	40.4	-0.043	40.357	40.0	0.357	
	40.5	-0.043	40.457	40.1	0.357	
	40.5	-0.043	40.457	40.1	0.357	
	40.5	-0.043	40.457	40.2	0.257	
	T max		40.460	40.2		
	T min		40.360	40.0		
	rata -rata		40.432	40.1	0.332	0.050



Gambar 4.1 Grafik Temperatur Standar vs AWS



Tabel 4.2a. Perhitungan ketidakpastian temperatur set point 20 °C

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ui	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	°C	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.0957	2.000	3E+00	0.0478714	1	0.04787	2.29E-03	1.75E-06
sertifikat Temp Digital	°C	Normal	U <sub>sertf.</sub>	0.1300	1.960	1E+11	0.0663265	1	0.06633	4.40E-03	1.94E-16
drift std	°C	-	U <sub>drift</sub>	0.0100	1.732	1E+11	0.0057735	1	0.00577	3.33E-05	1.11E-20
repeat pembacaan std	°C	-	u <sub>rep std</sub>	0.2000	3.464	1E+11	0.057735	1	0.05774	3.33E-03	1.11E-16
repeat pembacaan alat	°C	-	u <sub>rep alat</sub>	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
daya baca Operator	°C	rectangular	U <sub>daya baca op</sub>	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
inhomogenitas	°C	rectangular	U <sub>inhom</sub>	0.0810	3.464	1E+11	0.0233827	1	0.02338	5.47E-04	2.99E-18
Sums									1.23E-02	1.75E-06	
Comb. uncert, uc										1.11E-01	
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>										86.0152	
Cov. Factor for 95% CL										1.99	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b><u>0.22</u></b>	

°C

Tabel 4.2b. Perhitungan ketidakpastian temperatur set point 30 °C

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expand ed uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom / v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	°C	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.1500	2.000	3E+00	0.0750000	1	0.07500	5.63E-03	1.05E-05
sertifikat Temp Digital	°C	Normal	U <sub>sertf.</sub>	0.1300	1.960	1E+11	0.0663265	1	0.06633	4.40E-03	1.94E-16
drift std	°C	-	U <sub>drift</sub>	0.0100	1.732	1E+11	0.0057735	1	0.00577	3.33E-05	1.11E-20
repeat pembacaan std	°C	-	u <sub>rep std</sub>	0.2000	3.464	1E+11	0.057735	1	0.05774	3.33E-03	1.11E-16
repeat pembacaan alat	°C	-	u <sub>rep alat</sub>	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
daya baca Operator	°C	rectangular	U <sub>daya baca op</sub>	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
inhomogenitas	°C	rectangular	U <sub>inhom</sub>	0.0810	3.464	1E+11	0.0233827	1	0.02338	5.47E-04	2.99E-18
Sums									1.56E-02	1.05E-05	
Comb. uncert, uc										1.25E-01	
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>										23.0868	
Cov. Factor for 95% CL										2.09	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b>0.26</b>	

°C

Tabel 4.2c. Perhitungan ketidakpastian temperatur set point 40 °C

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	°C	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.0500	2.000	3.E+00	0.0250000	1	0.02500	6.25E-04	1.30E-07
sertifikat Temp Digital	°C	Normal	U <sub>sertf.</sub>	0.1300	1.960	1E+11	0.0663265	1	0.06633	4.40E-03	1.94E-16
drift std	°C	-	U <sub>drift</sub>	0.0100	1.732	1E+11	0.0057735	1	0.00577	3.33E-05	1.11E-20
repeat pembacaan std	°C	-	u <sub>rep std</sub>	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
repeat pembacaan alat	°C	-	u <sub>rep alat</sub>	0.2000	3.464	1E+11	0.057735	1	0.05774	3.33E-03	1.11E-16
daya baca Operator	°C	rectangular	U <sub>daya baca op</sub>	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
inhomogenitas	°C	rectangular	U <sub>inhom</sub>	0.0810	3.464	1E+11	0.0233827	1	0.02338	5.47E-04	2.99E-18
Sums									1.06E-02	1.30E-07	
Comb. uncert, uc										1.03E-01	
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>										863.623 7	
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b><u>0.20</u></b> °C	

Dari perhitungan kalibrasi temperatur diperoleh nilai koreksi dan ketidakpastian sebagaimana terdapat dalam Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Nilai koreksi serta ketidakpastian temperatur

Suhu Standar °C	Koreksi °C	$U_{95}$ ± °C
20	-0.30	0.22
30	-0.35	0.26
40	0.33	0.20

#### 4.1.2 Kalibrasi Kelembaban

Kalibrasi kelembaban udara dilakukan dalam *chamber* kelembaban yaitu suatu ruang yang kelembabannya dapat diatur, Alat Standar Sensor kelembaban menggunakan HMP45D No.B3150024. *set point* kelembaban ditentukan tiga titik yaitu 40%, 60%, dan 80%, yang mewakili wilayah pengukuran kelembaban udara permukaan tempat awa dioperasikan.

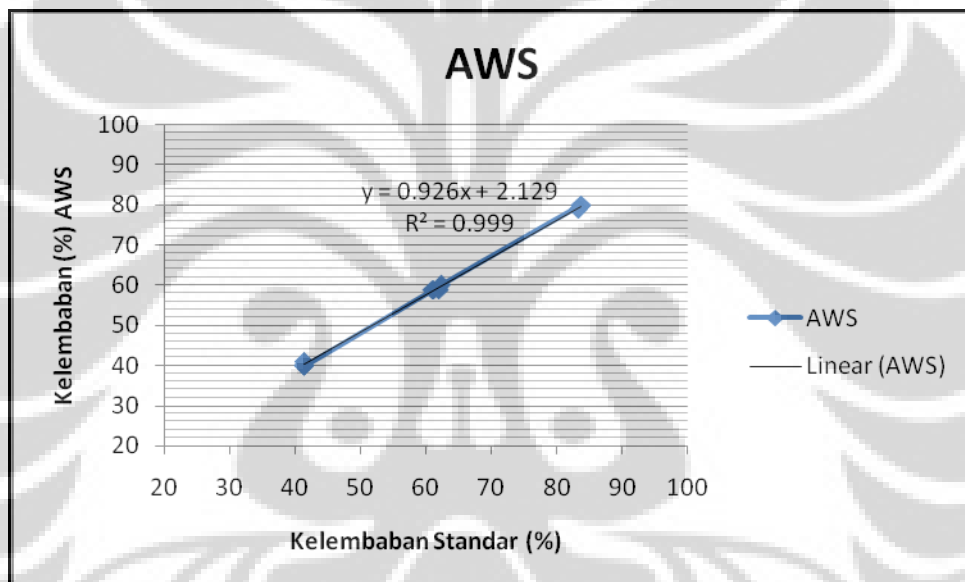
hasil kalibrasi diperoleh sebagaimana disajikan dalam tabel 4.4 dan perhitungan ketidakpastian dalam tabel 4.5a,4.5b,4.5c sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data Kalibrasi Kelembaban Udara (RH)

Set Point	STANDAR			Alat AWS	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	RH			
	%	%	%	%	%	%
40%	40.4	1.0	41.40	41.0	0.40	
	40.4	1.0	41.40	41.0	0.40	
	40.5	1.0	41.50	40.0	1.50	
	40.5	1.0	41.50	40.0	1.50	
	RH Max		41.50	41.0		
	RHMin		41.40	40.0		
	rata-rata		41.45	40.5	0.95	0.64
60%	59.7	1.5	61.20	58.0	3.20	
	59.5	1.5	61.00	58.0	3.00	
	60.5	1.5	62.00	59.0	3.00	
	60.8	1.5	62.30	60.0	2.30	
	RH Max		62.30	60.0		
	RHMin		61.00	58.0		
	rata-rata		61.63	58.7	2.88	0.39

Tabel 4.4 (sambungan)

Set Point	STANDAR			Alat yang dikalibrasi	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	RH			
	%	%	%	%	%	%
80%	80.7	3.1	83.80	79.0	4.80	
	80.2	3.1	83.30	79.0	4.30	
	80.7	3.1	83.80	79.0	4.80	
	80.2	3.1	83.30	79.0	4.30	
	RH Max		83.80	79.0		
	RHMin		83.30	79.0		
	rata -rata		83.55	79.0	4.55	0.29



Gambar 4.2 Grafik Kelembaban Standard vs AWS

Dari Tabel 4.4 dibuat grafik hubungan antara data Kelembaban AWS dengan alat standar sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.2, dari grafik tersebut terlihat adanya hubungan yang kuat antara AWS dengan alat standar yaitu  $R^2=0,999$  dengan persamaan regresi  $y = 0,926x + 2,129$ .

Tabel 4.5a. Perhitungan ketidakpastian RH Set Point 40%

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedo m/vi	Std. Uncert/ ui	Sens. Coeff/ ci	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4/v_i$
repeat	% RH	Normal	$u_{rep.}$	0.6351	2.000	3E+00	0.3175426	1	0.31754	1.01E-01	3.39E-03
sertifikat RH Digital	% RH	Normal	$U_{sertf.}$	1.5000	2.000	1E+11	0.7500000	1	0.75000	5.63E-01	3.16E-12
drift std	% RH	-	$U_{drift}$	1.0000	3.464	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
repeat pembacaan std	% RH	-	$U_{rep std}$	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
repeat pembacaan alat	% RH	-	$U_{rep alat}$	1.0000	3.464	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
daya baca Operator	% RH	rectangular	$U_{daya baca operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
inhomogenitas	% RH	rectangular	$U_{inhom}$	0.8000	3.464	1E+11	0.2309401	1	0.23094	5.33E-02	2.84E-14
Sums									8.85E-01	3.39E-03	
Comb. uncert, uc										9.41E-01	
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>										231.0998	
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b><u>1.84</u></b>	<b><u>%</u></b>

Tabel 4.5b. Perhitungan ketidakpastian RH Set Point 60%

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert/ $u_i$	Sens. Coef f/ $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
repeat	% RH	Normal	$u_{rep}$	0.4349	2.000	3.E+00	0.217466	1	0.21747	4.73E-02	7.46E-04
sertifikat RH Digital	% RH	Normal	$U_{sertf}$	1.5000	2.000	1E+11	0.750000	1	0.75000	5.63E-01	3.16E-12
drift std	% RH	-	$U_{drift}$	1.0000	3.464	1E+11	0.288675	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
repeat pembacaan std	% RH	-	$u_{rep\ std}$	1.3000	3.464	1E+11	0.372777	1	0.37528	1.41E-01	1.98E-13
repeat pembacaan alat	% RH	-	$u_{rep\ alat}$	1.0000	3.464	1E+11	0.288675	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
daya baca Operator	% RH	rectangular	$U_{daya\ baca\ operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.028867	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
inhomogenitas	% RH	rectangular	$U_{inhom}$	0.8000	3.464	1E+11	0.230940	1	0.23094	5.33E-02	2.84E-14
Sums									9.71E-01	7.46E-04	
Comb. uncert, uc									9.86E-01		
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$									1265.9028		
Cov. Factor for 95% CL									1.96		
Expanded uncertainty, U95									<b>1.93</b> %		

Tabel 4.5c. Perhitungan ketidakpastian RH Set Point 80%

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert/ $u_i$	Sens. Coeff/ $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
repeat	% RH	Normal	$u_{rep}$	0.2887	2.000	3.E+00	0.1443376	1	0.14434	2.08E-02	1.45E-04
sertifikat RH Digital	% RH	Normal	$U_{sertif.}$	1.5000	2.000	1E+11	0.75000	1	0.75000	5.63E-01	3.16E-12
drift std	% RH	-	$U_{drift}$	1.0000	3.464	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
repeat pembacaan std	% RH	-	$u_{rep\ std}$	0.5000	3.464	1E+11	0.1443376	1	0.14434	2.08E-02	4.34E-15
repeat pembacaan alat	% RH	-	$u_{rep\ alat}$	1.0000	3.464	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
daya baca Operator	% RH	rectangula r	$U_{daya\ baca\ operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
inhomogenitas	% RH	rectangula r	$U_{inhom}$	0.8000	3.464	1E+11	0.2309401	1	0.23094	5.33E-02	2.84E-14
Sums									8.25E-01	1.45E-04	
Comb. uncert, uc										9.08E-01	
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$										4704.479	
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U95										<b><u>1.78</u></b>	<b><u>%</u></b>



Dari perhitungan kalibrasi Kelembaban diperoleh nilai koreksi dan ketidakpastian sebagaimana terdapat dalam Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Nilai koreksi serta ketidakpastian Kelembaban

RH Standar %	Koreksi %	$U_{95}$ $\pm$ %
40	0.95	1.84
60	2.38	1.93
80	4.05	1.78

#### 4.1.3 Kalibrasi Tekanan Udara

Kalibrasi tekanan udara dilakukan dalam Chamber tekanan yaitu suatu ruang yang tekanannya dapat diatur, Alat Standar Sensor tekanan udara menggunakan PTB220 No.A4510005. set point tekanan udara ditentukan lima titik yaitu 800 mb, 850 mb, 900 mb, 950 mb, dan 1000 mb, yang mewakili wilayah pengukuran tekanan udara permukaan tempat awa dioperasikan.

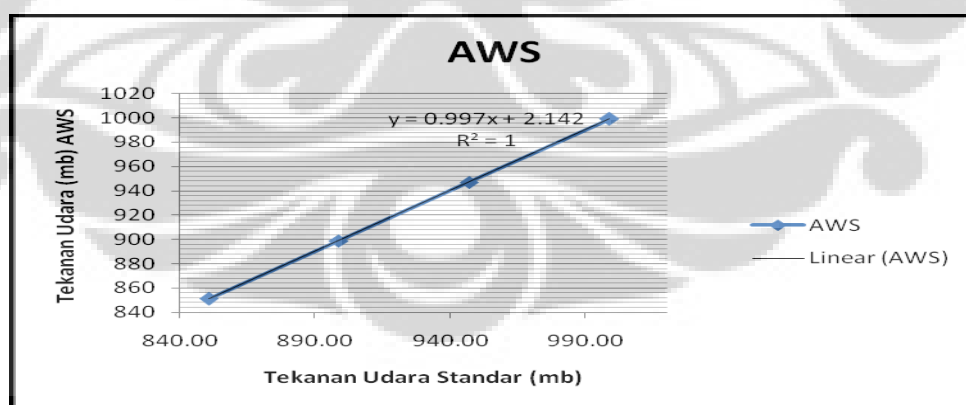
Hasil kalibrasi diperoleh sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.7 dan perhitungan ketidakpastian dalam Tabel 4.8a,4.8b,4.8c,4.8d sebagai berikut:

Tabel 4.7 Data Kalibrasi Tekanan Udara

Set Point	STANDAR			Alat	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Tekanan	AWS		
	(mb)	(mb)	(mb)	(mb)		
850 mb	850.70	0.02	850.72	851.0	-0.3	
	850.71	0.02	850.73	851.0	-0.3	
	850.66	0.02	850.68	851.0	-0.3	
	850.72	0.02	850.74	851.0	-0.3	
	P max		850.74	851.0		
	P min		850.68	851.0		
	rata -rata		850.72	851.0	-0.3	0.03

Tabel 4.7 (sambungan)

Set Point	STANDAR			Alat	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Tekanan	AWS		
	(mb)	(mb)	(mb)	(mb)		
900 mb	898.80	0.00	898.80	899.0	-0.2	
	898.78	0.00	898.78	899.0	-0.2	
	898.75	0.00	898.75	899.0	-0.3	
	898.77	0.00	898.77	899.0	-0.2	
	P max		898.80	899.0		
	Pmin		898.75	899.0		
	rata -rata		898.78	899.0	-0.2	0.02
950 mb	947.02	0.00	947.02	947.0	0.0	
	946.66	0.00	946.66	947.0	-0.3	
	946.65	0.00	946.65	947.0	-0.4	
	946.66	0.00	946.66	947.0	-0.3	
	P max		947.02	947.0		
	Pmin		946.65	947.0		
	rata -rata		946.75	947.0	-0.2	0.18
1000 mb	999.00	0.01	999.01	999.0	0.0	
	998.84	0.01	998.85	999.0	-0.2	
	998.55	0.01	998.56	999.0	-0.4	
	998.46	0.01	998.47	999.0	-0.5	
	P max		999.01	999.0		
	Pmin		998.47	999.0		
	rata -rata		998.72	999.0	-0.3	0.25



Gambar 4. 3 Grafik Tekanan Standar vs AWS

Dari Tabel 4.7 Data tekanan udara dibuat grafik hubungan antara tekanan udara hasil pengukuran AWS dengan alat standar (Gambar 4.3) dan dari grafik tersebut terlihat hubungan yang sangat kuat yaitu  $R^2=1$  dengan persamaan regresi  $y = 0,997x + 2,142$ .

Tabel 4.8a. Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 850 mb

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert/ $u_i$	Sens. Coeff/ $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4/\nu_i$
repeat	mb	Normal	$u_{rep}$	0.0263	2.000	3E+00	0.0131498	1	0.01315	1.73E-04	9.97E-09
sertifikat Barometer	mb	Normal	$u_{sertf}$	0.0700	2.000	1E+11	0.0350000	1	0.03500	1.23E-03	1.50E-17
drift std	mb	-	$u_{drift}$	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
repeat pembacaan std	mb	-	$u_{rep\ std}$	0.0600	3.464	1E+11	0.0173205	1	0.01732	3.00E-04	9.00E-19
repeat pembacaan alat	mb	-	$u_{rep\ alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.0000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
daya baca operator	mb	rectangular	$u_{daya\ baca\ opr}$	0.5000	1.732	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
Sums										8.59E-02	9.97E-09
Comb. uncert, uc										2.93E-01	
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$										739729.0109	
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U95										<b><u>0.57</u></b>	

mb

Tabel 4.8b. Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 900 mb

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expan ded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom / v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	mb	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.0208	2.000	3E+00	0.0104083	1	0.01041	1.08E-04	3.91E-09
sertifikat Barometer	mb	Normal	u <sub>sertf.</sub>	0.0700	2.000	1E+11	0.0350000	1	0.03500	1.23E-03	1.50E-17
drift std	mb	-	u <sub>drift</sub>	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
repeat pembacaan std	mb	-	u <sub>rep std</sub>	0.0500	3.464	1E+11	0.0144338	1	0.01443	2.08E-04	4.34E-19
repeat pembacaan alat	mb	-	u <sub>rep alat</sub>	0.0000	3.464	1E+11	0.0000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
daya baca operator	mb	rectangular	u <sub>daya baca opr</sub>	0.5000	1.732	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
Sums									8.57E-02	3.91E-09	
Comb. uncert, uc									2.93E-01		
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>									1877739.8815		
Cov. Factor for 95% CL									1.96		
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>									<u>0.57</u>		mb

Tabel 4.8c. Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 950 mb

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert/ $u_i$	Sens. Coeff/ $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
repeat	mb	Normal	$u_{rep.}$	0.1817	2.000	3E+00	0.0908639	1	0.09086	8.26E-03	2.27E-05
sertifikat Barometer	mb	Normal	$u_{sertf.}$	0.0700	2.000	1E+11	0.0350000	1	0.03500	1.23E-03	1.50E-17
drift std	mb	-	$u_{drift}$	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
repeat pembacaan std	mb	-	$u_{rep\ std}$	0.3700	3.464	1E+11	0.1068098	1	0.10681	1.14E-02	1.30E-15
repeat pembacaan alat	mb	-	$u_{rep\ alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
daya baca operator	mb	rectangular	$u_{daya\ baca\ opr}$	0.5000	1.732	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
Sums									1.05E-01	2.27E-05	
Comb. uncert, uc									3.24E-01		
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$									485.7350		
Cov. Factor for 95% CL									1.96		
Expanded uncertainty, U95									<b><u>0.64</u></b>		

mb

Tabel 4.8d. Perhitungan Ketidakpastian Tekanan set Point 1000 mb

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert/ $u_i$	Sens. Coeff/ $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
repeat	mb	Normal	$u_{rep.}$	0.2510	2.000	3E+00	0.1255239	1	0.12552	1.58E-02	8.28E-05
sertifikat Barometer	mb	Normal	$u_{sertf.}$	0.0700	2.000	1E+11	0.0350000	1	0.03500	1.23E-03	1.50E-17
drift std	mb	-	$u_{drift}$	0.1000	3.464	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
repeat pembacaan std	mb	-	$u_{rep\ std}$	0.5400	3.464	1E+11	0.1558846	1	0.15588	2.43E-02	5.90E-15
repeat pembacaan alat	mb	-	$u_{rep\ alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.0000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
daya baca operator	mb	rectangular	$u_{daya\ baca\ opr}$	0.5000	1.732	1E+11	0.2886751	1	0.28868	8.33E-02	6.94E-14
Sums									1.25E-01	8.28E-05	
Comb. uncert, uc										3.54E-01	
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$										190.1702	
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U95										<b><u>0.69</u></b>	

mb

Dari hasil pengukuran dan perhitungan ketidak pastian diperoleh koreksi Tekanan Udara dan ketidakpastian seperti dalam Tabel4.9 berikut:

Tabel 4.9 Tabel koreksi Tekanan Udara

Tekanan Standar (mb)	Koreksi (mb)	$U_{95}$ $\pm$ (mb)
850	-0.3	0.57
900	-0.2	0.57
950	-0.3	0.64
1000	-0.3	0.69

#### 4.1.4 Kalibrasi Kecepatan Angin

Kalibrasi kecepatan angin dilakukan dalam *Windtunnel* yaitu suatu ruang yang kecepatan anginnya dapat diatur, Alat Standar Sensor kecepatan angin menggunakan *Thermal Anemometer*. Pengukuran dilakukan dengan kondisi lingkungan Temperatur 27,9 °C, RH 58%, Tekanan Udara 1011,6 hPa. *Set point* pengukuran ditentukan lima titik yaitu 0,7 m/s, 2,8 m/s, 5,6 m/s, 7,7 m/s, dan 10,5 m/s, yang mewakili wilayah pengukuran tekanan udara permukaan tempat aws dioperasikan.

Hasil kalibrasi diperoleh sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.10 dan perhitungan ketidakpastian dalam Tabel 4.11a,4.11b,4.11c, 4.11d, dan 4.11e sebagai berikut:

Tabel 4.10 Data Kalibrasi Kecepatan Angin

Set Point	STANDAR THERMAL ANEMO			Alat dikalibrasi	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Terkoreksi	AWS		
	m/s	m/s	m/s	m/s		
0.7	0.70	-0.04	0.66	0.7	-0.04	
	0.70	-0.04	0.66	0.7	-0.04	
	0.70	-0.04	0.66	0.7	-0.04	
	0.70	-0.04	0.66	0.7	-0.04	
	V max		0.66	0.7		
	V min		0.66	0.7		
	rata -rata		0.66	0.7	-0.04	0.00

Tabel 4.10 (sambungan)

Set Point	STANDAR THERMAL ANEMO			Alat dikalibrasi	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Terkoreksi	Pembacaan		
	m/s	m/s	m/s	m/s		
2.8	2.82	-0.04	2.78	2.8	-0.02	
	2.82	-0.04	2.78	2.8	-0.02	
	2.82	-0.04	2.78	2.8	-0.02	
	2.82	-0.04	2.78	2.8	-0.02	
	V max		2.78	2.8		
	V min		2.78	2.8		
	rata -rata		2.78	2.8	-0.02	0.00
5.6	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	V max		5.34	5.6		
	V min		5.34	5.6		
	rata -rata		5.34	5.6	-0.26	0.00
7.7	7.74	-0.19	7.55	7.7	-0.15	
	7.74	-0.19	7.55	7.7	-0.15	
	7.74	-0.19	7.55	7.7	-0.15	
	7.74	-0.19	7.55	7.7	-0.15	
	V max		7.55	7.7		
	V min		7.55	7.7		
	rata -rata		7.55	7.7	-0.15	0.00
10.5	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	5.63	-0.29	5.34	5.6	-0.26	
	V max		5.34	5.6		
	V min		5.34	5.6		
	rata -rata		5.34	5.6	-0.26	0.00



Tabel 4.11a Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 0.7 m/s

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert $u_i$	Sens. Coeff/ $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
Repeat	m/s	Normal	$U_{rep.}$	0.0000	2.000	3E+00	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
sertifikat std	m/s	Normal	$U_{sertf.}$	0.1980	2.000	1E+11	0.099000	1	0.09900	9.80E-03	9.61E-16
drift std	m/s	Rect	$U_{drift}$	0.5940	3.464	1E+11	0.171473	1	0.17147	2.94E-02	8.65E-15
Repeat pembacaan std	m/s	Rect	$U_{rep\_pemb\_std}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Repeat pembacaan alat	m/s	Rect	$U_{rep\_pemb\_alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Daya baca Operator	m/s	Rect	$U_{operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
Stability	m/s	Rect	$U_{stab.}$	0.0123	3.464	1E+11	0.0035438	1	0.00354	1.26E-05	1.58E-21
Sums									4.00E-02	9.61E-15	
Comb. uncert, uc									2.00E-01		
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$									166858367636.4160		
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U95											<b>0.39</b> m/s

Tabel 4.11b Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 2.8 m/s

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pemba gi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert $u_i$	Sens. Coeff / $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
Repeat	m/s	Normal	$U_{rep.}$	0.0000	2.000	3.E+00	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
sertifikat std	m/s	Normal	$U_{sertf.}$	0.1980	2.000	1E+11	0.099000	1	0.09900	9.80E-03	9.61E-16
drift std	m/s	Rect	$U_{drift}$	0.5940	3.464	1E+11	0.171473	1	0.17147	2.94E-02	8.65E-15
Repeat pembacaan std	m/s	Rect	$U_{rep\_pembacaan\_std}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Repeat pembacaan alat	m/s	Rect	$U_{rep\_pembacaan\_alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Daya baca Operator	m/s	Rect	$U_{operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
Stability	m/s	Rect	$U_{stab.}$	0.0123	3.464	1E+11	0.0035438	1	0.00354	1.26E-05	1.58E-21
Sums									4.00E-02	9.61E-15	
Comb. uncert, uc									2.00E-01		
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$									166858367636.4160		
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U95											<b>0.39</b> m/s

Tabel 4.11c Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 5.6 m/s

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pemba gi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff / c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
Repeat	m/s	Normal	U <sub>rep.</sub>	0.0000	2.000	3.E+00	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
sertifikat std	m/s	Normal	U <sub>sertf.</sub>	0.1980	2.000	1E+11	0.099000	1	0.09900	9.80E-03	9.61E-16
drift std	m/s	Rect	U <sub>drift</sub>	0.5940	3.464	1E+11	0.171473	1	0.17147	2.94E-02	8.65E-15
Repeat pembacaan std	m/s	Rect	U <sub>rep_pembaca an_std</sub>	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Repeat pembacaan alat	m/s	Rect	U <sub>rep_pemb alat</sub>	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Daya baca Operator	m/s	Rect	U <sub>operator</sub>	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
Stability	m/s	Rect	U <sub>stab.</sub>	0.0123	3.464	1E+11	0.0035438	1	0.00354	1.26E-05	1.58E-21
Sums									4.00E-02	9.61E-15	
Comb. uncert, uc									2.00E-01		
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>									166858367636.4160		
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b>0.39</b> m/s	

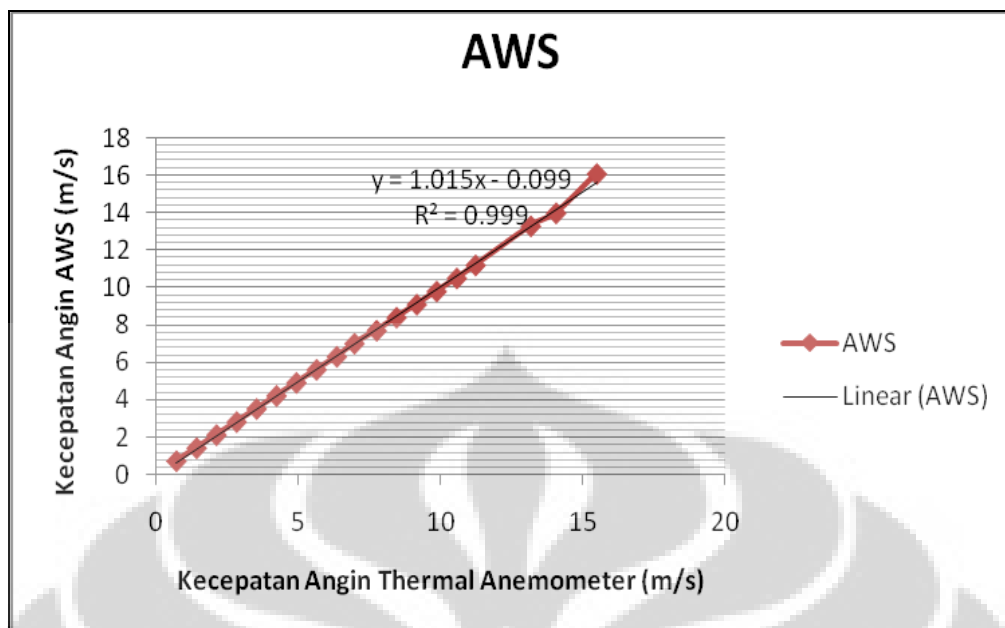
Tabel 4.11d Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 7.7 m/s

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert $u_i$	Sens. Coeff / $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
Repeat	m/s	Normal	$U_{rep.}$	0.0000	2.000	3.E+00	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
sertifikat std	m/s	Normal	$U_{sertf.}$	0.1980	2.000	1E+11	0.099000	1	0.09900	9.80E-03	9.61E-16
drift std	m/s	Rect	$U_{drift}$	0.5940	3.464	1E+11	0.171473	1	0.17147	2.94E-02	8.65E-15
Repeat pembacaan std	m/s	Rect	$U_{rep\_pembacaan\_std}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Repeat pembacaan alat	m/s	Rect	$U_{rep\_pembacaan\_alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Daya baca Operator	m/s	Rect	$U_{operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
Stability	m/s	Rect	$U_{stab.}$	0.0123	3.464	1E+11	0.0035438	1	0.00354	1.26E-05	1.58E-21
Sums										4.00E-02	9.61E-15
Comb. uncert, uc										2.00E-01	
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$										166858367636.4160	
Cov. Factor for 95% CL										1.96	
Expanded uncertainty, U95										<b>0.39</b> m/s	

Tabel 4.11e. Perhitungan Ketidakpastian kecepatan angin 10.5 m/s

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	Expanded uncert/ U	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ $\nu_i$	Std. Uncert/ $u_i$	Sens. Coeff / $c_i$	$c_i \cdot u_i$	$(c_i \cdot u_i)^2$	$(c_i \cdot u_i)^4 / \nu_i$
Repeat	m/s	Normal	$U_{rep.}$	0.0000	2.000	3.E+00	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
sertifikat std	m/s	Normal	$U_{sertf.}$	0.1980	2.000	1E+11	0.099000	1	0.09900	9.80E-03	9.61E-16
drift std	m/s	Rect	$U_{drift}$	0.5940	3.464	1E+11	0.171473	1	0.17147	2.94E-02	8.65E-15
Repeat pembacaan std	m/s	Rect	$U_{rep\_pembacaan\_std}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Repeat pembacaan alat	m/s	Rect	$U_{rep\_pembacaan\_alat}$	0.0000	3.464	1E+11	0.000000	1	0.00000	0.00E+00	0.00E+00
Daya baca Operator	m/s	Rect	$U_{operator}$	0.0500	1.732	1E+11	0.0288675	1	0.02887	8.33E-04	6.94E-18
Stability	m/s	Rect	$U_{stab.}$	0.0123	3.464	1E+11	0.0035438	1	0.00354	1.26E-05	1.58E-21
Sums									4.00E-02	9.61E-15	
Comb. uncert, uc									2.00E-01		
Eff. Deg of freedom, $\nu_{eff}$									166858367636.4160		
Cov. Factor for 95% CL									1.96		
Expanded uncertainty, U95									<b>0.39</b>		

m/s



Gambar 4. 4 Grafik Linieritas pengukuran Thermal Anemometer vs AWS

Dari Tabel 4.10 data kecepatan angin dibuat grafik hubungan kecepatan angin aws dan alat standar (Gambar 4.4) dari gambar tersebut terlihat jelas hubungan yang kuat antara data aws dengan data alat standar yaitu  $R^2=0,999$  dengan persamaan regresi linear  $y = 1,015x - 0,099$ , dari grafik tersebut terlihat untuk kecepatan yang semakin tinggi terjadi penyimpangan yang agak besar, sehingga alat tersebut hanya cocok digunakan pada daerah dengan kecepatan  $<16$  m/s.

Tabel 4.12 Hasil Kalibrasi Kecepatan angin

Kec Standar m/s	Koreksi m/s	$U_{95}$ $\pm$ m/s
0.7	-0.02	0.39
2.8	-0.02	0.39
5.6	-0.26	0.39
7.7	-0.15	0.39
10.5	-0.26	0.39

#### 4.1.5 Kalibrasi Arah Angin

Kalibrasi Arah angin dengan menggunakan Skala sudut lingkaran (360 derajat) dengan melakukan pemutaran wind vane satu putaran penuh dan mencatat arah dalam derajat yang ditunjukkan AWS, dengan mengambil

titik set point sebanyak empat yaitu 0/360, 90, 180, dan 270 maka diperoleh data seperti pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Data kalibrasi arah Angin

SET POINT	STANDAR			Alat AWS	Koreksi	Standar Deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Terkoreksi	Pembacaan		
	(derajat)	(derajat)	(derajat)	(derajat)		
0	0.0	1.1	1.1	1.0	0.1	
90	90.2	1.1	91.3	90.0	1.3	
180	180.0	1.1	181.1	180.0	1.1	
270	270.0	0.9	270.9	270.0	0.9	
	Rata-rata		136.1	135.3	0.8	<b>0.53</b>

#### 4.1.6 Kalibrasi Curah Hujan

Kalibrasi alat ukur curah hujan *Tipping bucket* dilakukan dengan menuangkan sejumlah tertentu volume air ke dalam *tipping bucket*. Sesuai spesifikasi luas permukaan corong sebesar  $200 \text{ cm}^2$ , dan volume *tipping bucket* untuk satu kali jungkit sama dengan  $4 \text{ cm}^3$ , yang berarti bila corong menangkap curah hujan sebanyak  $4 \text{ cm}^3$  atau satu kali jungkit identik dengan tinggi curah hujan 0,2 mm, dengan perkataan lain bila *tipping bucket* diisi air dengan volume  $16 \text{ cm}^3$  maka *tipping* diharapkan akan terjungkit sebanyak empat kali yang identik dengan curah hujan  $4 \times 0,2 \text{ mm} = 0,8 \text{ mm}$ . Proses kalibrasi *tipping bucket* dengan menuangkan air pada *tipping* sebagai titik sampel yaitu,  $4 \text{ cm}^3$ ,  $8 \text{ cm}^3$ ,  $12 \text{ cm}^3$ ,  $16 \text{ cm}^3$ . Yang perlu diperhatikan adalah bahwa alat ukur volume yang digunakan merupakan alat standar yang sudah terkalibrasi.

Data serta perhitungan koreksi dan ketidakpastian pengukuran disajikan dalam Tabel 4.14, Tabel 4.15a, Tabel 4.15b, Tabel 4.15c, dan Tabel 4.15d dibawah ini.

Tabel 4.14 Data Kalibrasi curah hujan dengan luas corong 200 cm<sup>2</sup>

SET POINT ( TIP )	STANDAR			vol sisa	Jumlah Tip mm	Koreksi mm	Standar deviasi
	Pembacaan	Koreksi	Volume	typping bucket			
	ml	ml	ml	ml			
4	4.0	0	4.00	0.0	1.0	0.00	
	4.1	0	4.10	0.0	1.1	-0.07	
	4.0	0	4.00	0.0	1.0	0.00	
	4.1	0	4.10	0.0	1.0	0.03	
	rata -rata		4.05	0.0		-0.01	0.04
8	8.0	-0.1	7.90	0.5	2.0	-0.15	
	8.1	-0.1	8.00	0.2	2.0	-0.05	
	8.1	-0.1	8.00	1.0	2.1	-0.35	
	8.0	-0.1	7.90	0.3	2.0	-0.10	
	rata -rata		7.95	0.5		-0.16	0.13
12	12.5	-0.1	12.40	0.0	3.1	0.00	
	12.3	-0.1	12.20	0.3	3.0	-0.03	
	12.2	-0.1	12.10	0.1	3.0	0.00	
	12.4	-0.1	12.30	0.2	3.0	0.025	
	rata -rata		12.25	0.2		0.00	0.02
16	15.9	-0.2	15.70	0.0	4.1	-0.18	
	16.0	-0.2	15.80	0.3	4.0	-0.13	
	16.0	-0.2	15.80	0.1	4.0	-0.08	
	16.1	-0.2	15.90	0.5	4.0	-0.15	
	rata -rata		15.80	0.2		-0.13	0.04
	rata -rata		15.83				<b>0.043</b>



Tabel 4.15a Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 4 cm<sup>3</sup>

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	U or a	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	mm	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.0433	2.000	3	0.021650635	1	0.02165	4.69E-04	7.32E-08
sertifikat Gelas Ukur	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.0010	1.732	50	0.00057735	1	0.00058	3.33E-07	2.22E-15
sertifikat Digital Stigmat	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.0140	1.732	50	0.008082904	1	0.00808	6.53E-05	8.54E-11
Resolusi std	mm	rectangular	u <sub>resolusi std</sub>	0.1000	1.732	50	0.057735027	1	0.05774	3.33E-03	2.22E-07
Sums									3.87E-03	2.96E-07	
Comb. uncert, uc									6.22E-02		
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>										50.6158	
Cov. Factor for 95% CL										2.01	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b><u>0.13</u></b>	

mm

Tabel 4.15b Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 8 cm<sup>3</sup>

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	U or a	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> ·u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	mm	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.1315	2.000	3	0.065748891	1	0.06575	4.32E-03	6.23E-06
sertifikat Gelas Ukur	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.0010	1.732	50	0.00057735	1	0.00058	3.33E-07	2.22E-15
sertifikat Digital Stigmat	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.0140	1.732	50	0.008082904	1	0.00808	6.53E-05	8.54E-11
Resolusi std	mm	rectangular	u <sub>resolusi std</sub>	0.1000	1.732	50	0.057735027	1	0.05774	3.33E-03	2.22E-07
Sums										7.72E-03	6.45E-06
Comb. uncert, uc										8.79E-02	
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>											9.2425
Cov. Factor for 95% CL											2.26
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>											<b><u>0.20</u></b>

mm

Tabel 4.15c Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 12 cm<sup>3</sup>

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	U or a	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	mm	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.0427	2.000	3	0.021347814	1	0.02135	4.56E-04	6.92E-08
sertifikat Gelas Ukur	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.1315	1.732	50	0.07592028	1	0.07592	5.76E-03	6.64E-07
sertifikat Digital Stigmat	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.0010	1.732	50	0.00057735	1	0.00058	3.33E-07	2.22E-15
Resolusi std	mm	rectangular	u <sub>resolusi std</sub>	0.0140	1.732	50	0.008082904	1	0.00808	6.53E-05	8.54E-11
Sums										6.29E-03	7.34E-07
Comb. uncert, uc										7.93E-02	
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>											53.8386
Cov. Factor for 95% CL											2.01
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>											<b><u>0.16</u></b>

mm

Tabel 4.15d Perhitungan Ketidakpastian curah hujan set point 16 cm<sup>3</sup>

Uncert source/ Komponen	Unit/ Satuan	Distribusi	Symbol	U or a	Cov. Factor/ Pembagi	Deg. of freedom/ v <sub>i</sub>	Std. Uncert/ u <sub>i</sub>	Sens. Coeff/ c <sub>i</sub>	c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(c <sub>i</sub> .u <sub>i</sub> ) <sup>4</sup> /v <sub>i</sub>
repeat	mm	Normal	u <sub>rep.</sub>	0.0427	2.000	3	0.021347814	1	0.02135	4.56E-04	6.92E-08
sertifikat Gelas Ukur	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.0427	1.732	50	0.024650332	1	0.02465	6.08E-04	7.38E-09
sertifikat Digital Stigmat	mm	rectangular	u <sub>sertf.</sub>	0.1315	1.732	50	0.07592028	1	0.07592	5.76E-03	6.64E-07
Resolusi std	mm	rectangular	u <sub>resolusi std</sub>	0.0010	1.732	50	0.00057735	1	0.00058	3.33E-07	2.22E-15
Sums									6.83E-03	7.41E-07	
Comb. uncert, uc									8.26E-02		
Eff. Deg of freedom, v <sub>eff</sub>										62.9043	
Cov. Factor for 95% CL										2.00	
Expanded uncertainty, U <sub>95</sub>										<b><u>0.17</u></b>	

mm

Tabel 4.16 Nilai koreksi serta ketidakpastian curah hujan

<b>Volume Standar</b>	<b>Koreksi</b>	<b><math>U_{95}</math> <math>\pm</math></b>
mm	mm	mm
4	-0.01	0.13
8	-0.15	0.20
12	-0.05	0.16
16	-0.35	0.17

#### 4.1.7 Kalibrasi Penyinaran Matahari

Untuk kalibrasi Energi Matahari tidak bisa dilakukan disebabkan belum adanya alat standar serta laboratoriumnya. Sehingga hanya dapat dilakukan interkomparasi yaitu dengan membandingkan alat AWS dengan alat yang ada buatan pabrik untuk melihat sejauh mana kedekaan hasil pengukuran alat dengan alat operasional yang ada.

#### 4.2 Analisa Alat

Dari hasil uji coba alat untuk akuisisi data berhasil menampilkan semua data dengan baik dalam display aws secara bergantian. Manum ketiga program penyimpanan ke dalam Multimedia Card (MMC) agar alat dapat berfungsi sebagai logger, sistem hanya mampu mengakses data dalam waktu sekitar 5 detik lalu terjadi kemacetan (*hang*) hal ini dikarenakan penulis belum memperhitungkan besarnya program MMC sementara memori yang tersedia sangat terbatas, besarnya kapasitas program aws akuisisi sebesar 434 byte sedang program untuk logger MMC sebesar 562 sehingga untuk kedua program tersebut memakan memory sebesar 996 bytes sementara untuk register diperlukan 32 bytes sehingga total sudah 1028 bytes belum lagi untuk keperluan Arithmetic Logical Unit (ALU) sementara alokasi memori mikrokontroler hanya 1024bytes (1 Kbytes). Ketiga program dijalankan secara sendiri-sendiri semua bisa berjalan dengan baik maka penulis menyimpulkan mikrokontroler dengan kapasitas memori 1Kb tidak

mampu bila AWS difungsikan sebagai logger, masalah ini bisa diatasi dengan mengganti mikrokontroler dengan memori  $\geq 2$  kbytes atau dengan menggunakan mikrokontroler yang support dengan memori eksternal. Untuk mengatasi masalah tersebut di atas maka penyimpanan data dilakukan langsung pada komputer dengan program Lab View, data akan tersimpan secara otomatis di komputer dalam *format excel* sehingga untuk tahapan penelitian ini AWS yang dihasilkan harus terhubung dengan komputer untuk melakukan perekaman data.

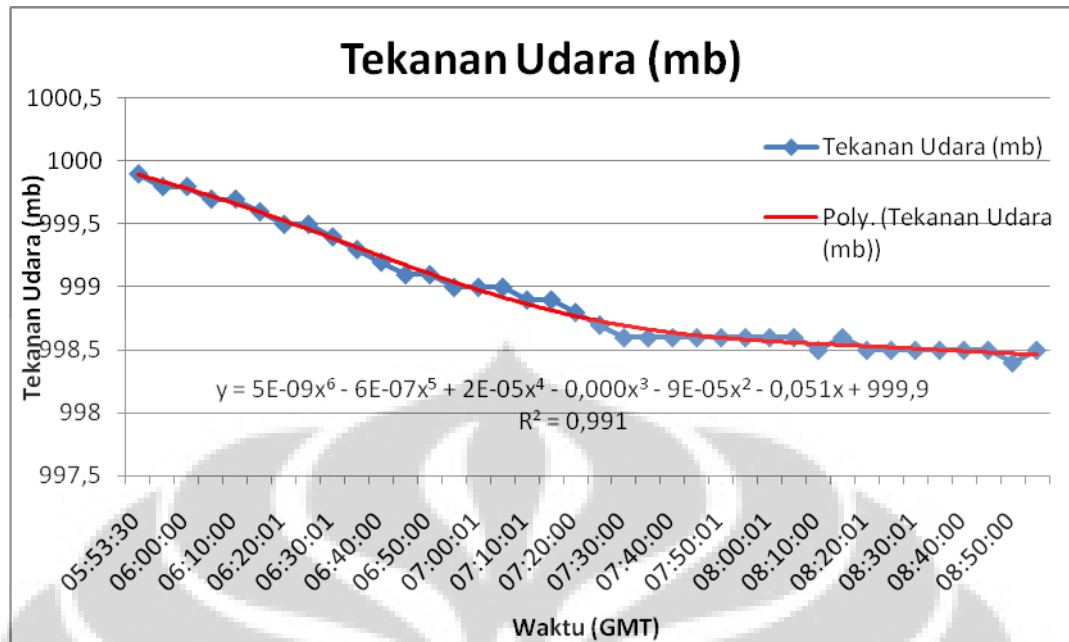
#### 4.3 Hasil Uji coba Alat

Uji coba alat dilakukan dilapangan terbuka dengan hasil sebagai berikut:

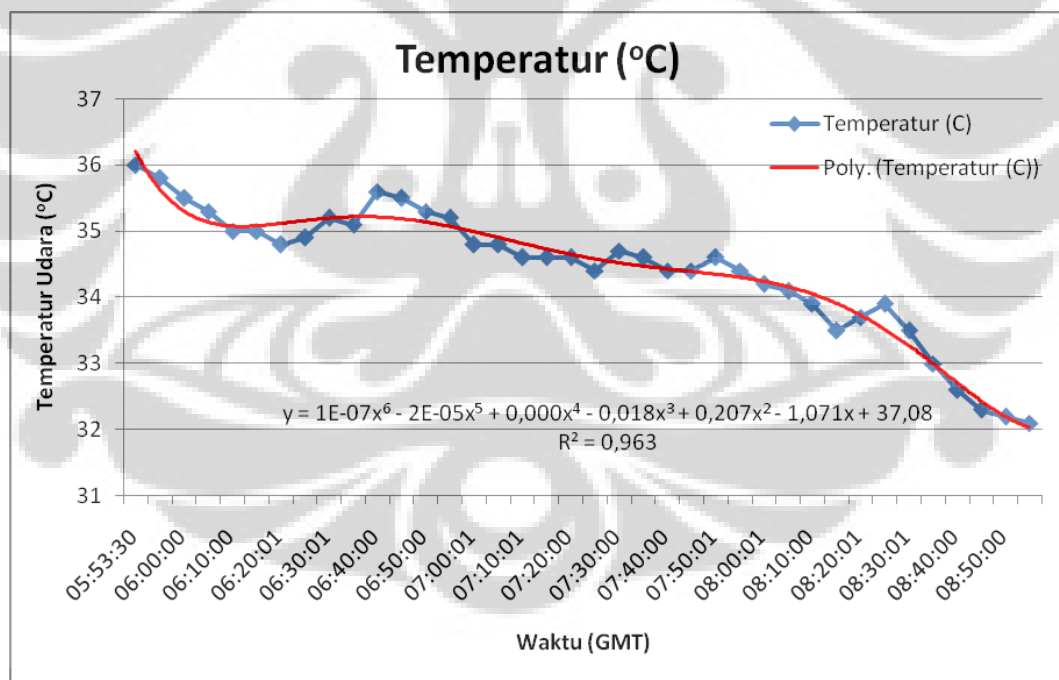
Tabel 4.17 Hasil uji coba alat AWS

Beji - Depok									
Der Bj. 6			Der Lt		Elevasi (m)				
23,18 S			106		48,2 E 104.6				
TANGGAL	JAM (GMT)	PP(mb)	TT(°C)	RH(%)	Td(°C)	dd(der)	ff(m/s)	RR(mm)	ES(J/m <sup>2</sup> )
07/05/2009	05:53:30	999,9	36,0	50	23,9	12	0,7	0,7	215
07/05/2009	05:55:01	999,8	35,8	50	23,8	30	0,7	0,7	340
07/05/2009	06:00:00	999,8	35,5	52	24,1	285	0,7	0,7	420
07/05/2009	06:05:01	999,7	35,3	51	23,6	137	0,7	0,7	205
07/05/2009	06:10:00	999,7	35,0	52	23,7	114	0,7	0,7	205
07/05/2009	06:15:00	999,6	35,0	53	24,0	48	1,4	1,4	195
07/05/2009	06:20:01	999,5	34,8	51	23,2	155	0,7	0,7	205
07/05/2009	06:25:00	999,5	34,9	52	23,6	285	0,7	0,7	180
07/05/2009	06:30:01	999,4	35,2	51	23,5	326	0,7	0,7	190
07/05/2009	06:35:02	999,3	35,1	51	23,4	58	0,0	0,0	205
07/05/2009	06:40:00	999,2	35,6	47	22,5	38	0,0	0,0	230
07/05/2009	06:45:01	999,1	35,5	47	22,5	116	0,7	0,7	210
07/05/2009	06:50:00	999,1	35,3	46	21,9	39	2,1	2,1	215

TANGGAL	JAM (GMT)	PP(mb)	TT(°C)	RH(%)	Td(°C)	dd(der)	ff(m/s)	RR(mm)	ES(J/m <sup>2</sup> )
07/05/2009	06:55:01	999,0	35,2	46	21,8	55	1,4	1,4	180
07/05/2009	07:00:01	999,0	34,8	48	22,2	64	1,4	1,4	175
07/05/2009	07:05:00	999,0	34,8	47	21,8	100	0,7	0,7	150
07/05/2009	07:10:01	998,9	34,6	49	22,3	356	0,0	0,0	155
07/05/2009	07:15:02	998,9	34,6	51	23,0	293	0,7	0,7	175
07/05/2009	07:20:00	998,8	34,6	49	22,3	290	0,7	0,7	165
07/05/2009	07:25:01	998,7	34,4	50	22,5	200	1,4	1,4	165
07/05/2009	07:30:00	998,6	34,7	48	22,1	79	0,7	0,7	140
07/05/2009	07:35:01	998,6	34,6	49	22,3	271	0,7	0,7	125
07/05/2009	07:40:00	998,6	34,4	49	22,1	294	0,7	0,7	105
07/05/2009	07:45:01	998,6	34,4	50	22,5	303	0,7	0,7	135
07/05/2009	07:50:01	998,6	34,6	49	22,3	288	0,0	0,0	130
07/05/2009	07:55:00	998,6	34,4	50	22,5	272	0,7	0,7	110
07/05/2009	08:00:01	998,6	34,2	48	21,6	53	0,7	0,7	105
07/05/2009	08:05:00	998,6	34,1	51	22,5	78	0,0	0,0	110
07/05/2009	08:10:00	998,5	33,9	49	21,7	69	1,4	1,4	90
07/05/2009	08:15:01	998,6	33,5	51	22,0	94	0,7	0,7	85
07/05/2009	08:20:01	998,5	33,7	51	22,2	32	0,7	0,7	105
07/05/2009	08:25:00	998,5	33,9	51	22,3	39	0,0	0,0	100
07/05/2009	08:30:01	998,5	33,5	51	22,0	309	0,0	0,0	85
07/05/2009	08:35:01	998,5	33,0	51	21,5	39	0,7	0,7	65
07/05/2009	08:40:00	998,5	32,6	54	22,1	57	0,7	0,7	50
07/05/2009	08:45:04	998,5	32,3	53	21,5	35	0,0	0,0	60
07/05/2009	08:50:00	998,4	32,2	52	21,1	101	0,7	0,7	65

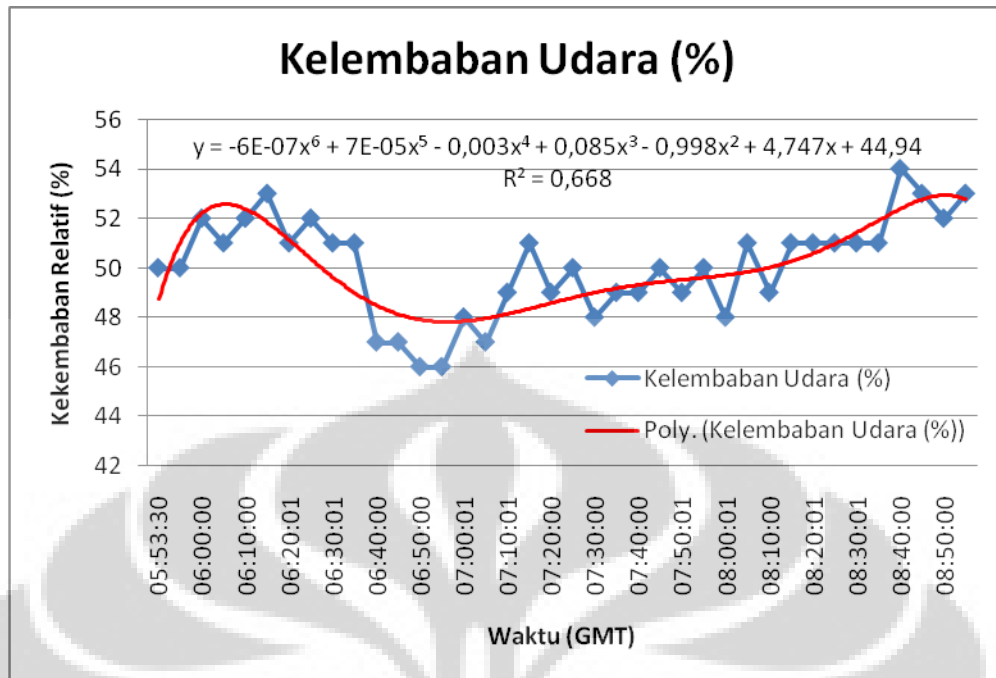


Gambar 4.5 Grafik Polynomial Perubahan Tekanan udara

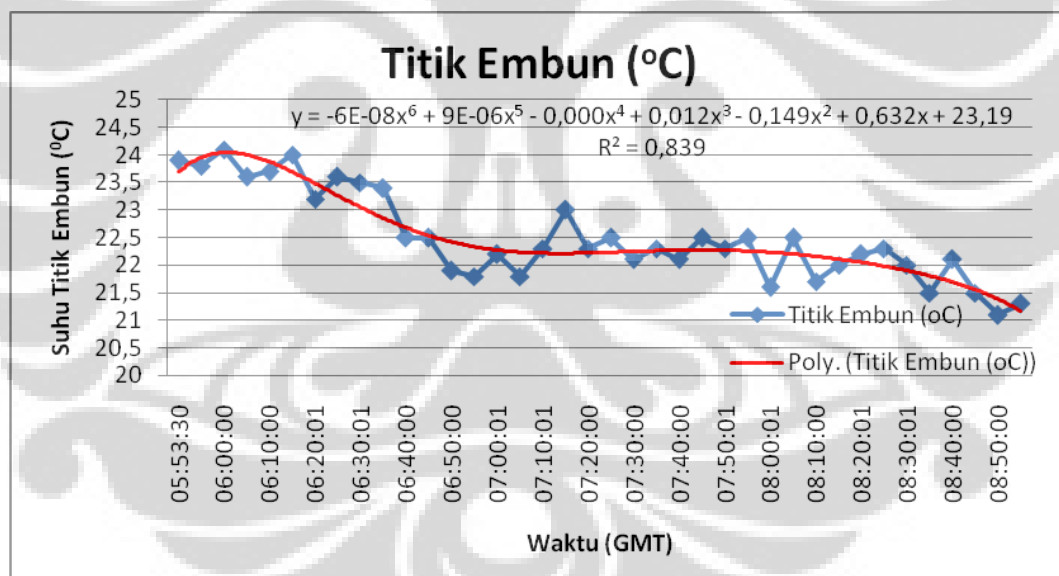


Gambar 4.6 Grafik Polynomial Perubahan Temperatur udara

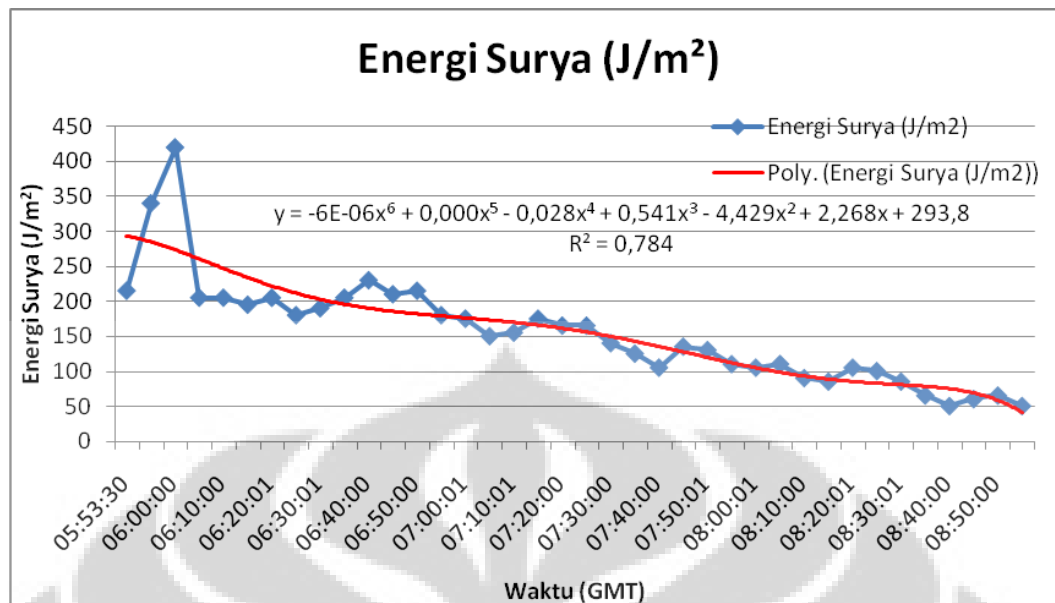




Gambar 4.7 Grafik Polynomial Perubahan Kelembaban udara

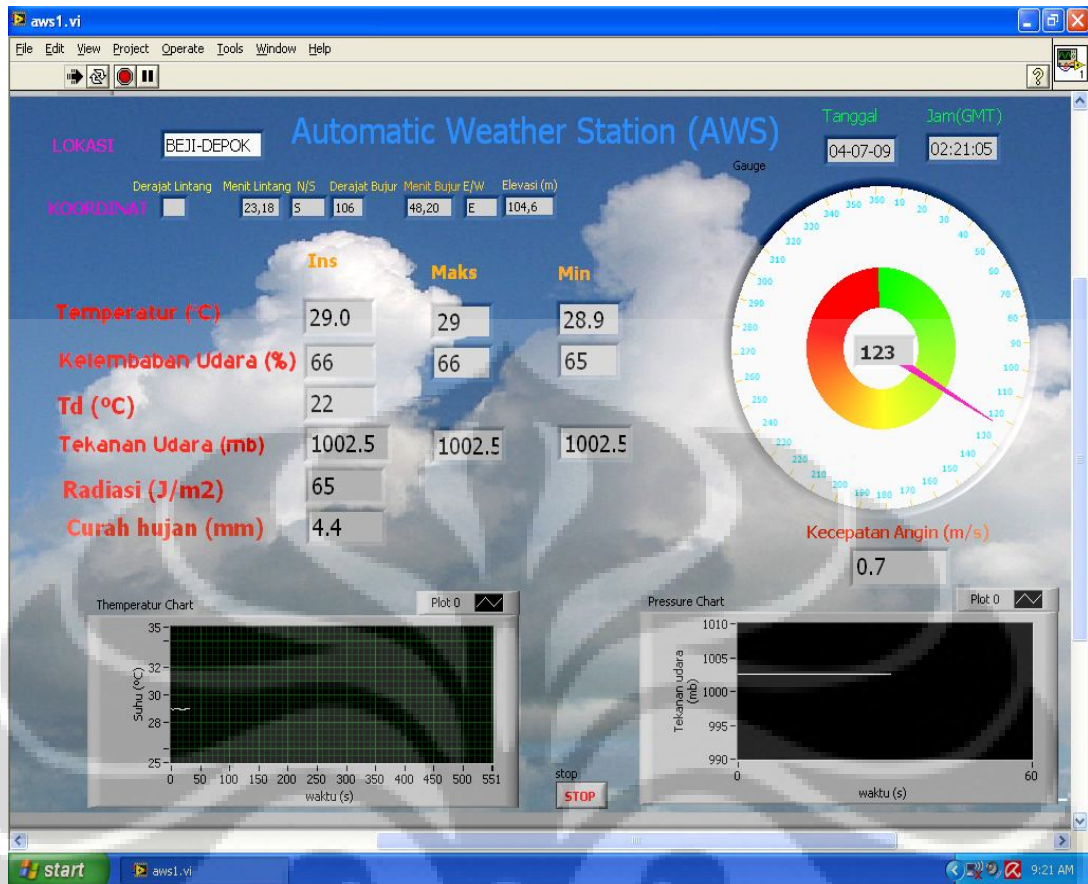


Gambar 4.8 Grafik Polynomial Perubahan Temperatur Titik embun



Gambar 4.9 Grafik Polynomial Perubahan Energi Surya

Dari Tabel 4.10 Hasil uji coba alat yang dilakukan di Depok pada tanggal 5 Juli 2009 jam 06:53:30 GMT sampai dengan 08:50:00 GMT dibuat grafik perubahan unsur Tekanan Udara, Temperatur, Kelembaban, Titik Embun dan Energi Surya dengan pendekatan persamaan polynomial orde 6, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9. Dari grafik tersebut terlihat Tekanan udara menurun hal ini diakibatkan pemanasan udara pada siang sehingga kerapatan udar semakin kecil yang berakibat berat atmosfer semakin kecil, demikian juga halnya dengan Temperatur udara, Temperatur Titik embun, dan Energy surya sejalan dengan posisi matahari semakin sore semakin condong ke arah Barat maka sudut penyinaran akan semakin kecil sehingga energy yang ditangkap sensor semakin sedikit. Lain halnya dengan Kelembaban Udara yang terlihat semakin naik ini dikarenakan pada waktu siang terjadi penguapan sehingga udara semakin lembab dan juga dari indikasi bila Temperatur udara dengan Temperatur Titik embun memiliki selisih yang semakin kecil maka kelembaban semakin tinggi. Dengan menggunakan persamaan polynomial tersebut diharapkan bisa memprediksi keadaan cuaca yang akan datang, namun diperlukan rangkaian data series yang cukup lama minimal satu siklus musim.



Gambar 4.10 Display Alat

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat protipe sistem Automatic Weather Station (AWS) dengan menggunakan mikrokontroler AVR-Atmega164P sebagai unit pengontrol akuisisi data dari tujuh elemen sensor, dengan display secara bergantian menggunakan LCD sedang untuk menampilkan tujuh unsur cuaca secara bersamaan menggunakan Personal Komputer.
2. Sistem penentuan posisi lokasi yaitu Lintang, Bujur, serta Elevasi menggunakan *Global Positioning System* (GPS) 18 LVC terhubung melalui komunikasi RS-323 untuk menampilkan tekan CTRL + P pada komputer.
3. Sistem pewaktuan menggunakan *Real Time Clock* (RTC) DS1037 yang dapat dikoreksi secara langsung oleh GPS secara otomatis atau dengan manual setelah terhubung dengan PC lalu menekan key board CTRL + T pada komputer.
4. Dengan menambahkan *Multimedia Card* (MMC) pada Sistem AWS dapat menyimpan data secara otomatis pada MMC sehingga sistem bisa berfungsi sebagai logger namun dalam penelitian belum berhasil secara sempurna.
5. Dari proses Kalibrasi diperoleh hasil yang cukup bagus untuk beberapa unsur dengan koreksi serta ketidakpastian yaitu:

Suhu :  $(-0,33 \pm 0,20) ^\circ\text{C}$  ,  $r^2 = 0,999$

Tekanan Udara :  $(-0,26 \pm 0,61)\text{mb}$  ,  $r^2 = 1$

Kelembaban Udara :  $(+1,80 \pm 1,30) \%$  ,  $r^2 = 0,999$

Arah angin : 0,8 m/s ; standar deviasi 0,53 m/s

Kecepatan angin :  $(-0,14 \pm 0,39) \text{m/s}$  ;  $r^2 = 0,999$

Curah hujan :  $(-0,112 \pm 0,132) \text{mm}$

Radiasi Matahari : -

## 5.2 SARAN

Untuk lebih meningkatkan hasil penelitian ini sehingga dapat menghasilkan suatu produk berkualitas yang bisa dioperasikan di lapangan, disarankan dilakukan hal-hal berikut ini:

1. Perlu dirancang PCB yang lebih kompak sehingga untuk efisiensi ruang, dan kotak yang kedap udara untuk melindungi sistem mikrokontroler dari pengaruh cuaca secara langsung.
2. Untuk pengembangan selanjutnya perlu diperhatikan memory mikrokontroler minimal 2Kbyte agar bisa menjalankan program AWS dengan MMC, serta penyempurnaan program.
3. Perlu ditambahkan rangkaian komunikasi agar data dapat terkirim secara otomatis ke pusat pengolahan data.
4. Menyediakan port USB disamping port serial untuk memudahkan akses ke sistem AWS.
5. Perlu uji coba lapang minimal 1 tahun untuk mengetahui kehandalan alat .

## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Amin Mutohar (2008) *Embedded System Laboratory* <http://www.elarning-jogja.org>
- [2]. Ardi Winoto, Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR, INFORMATIKA Bandung, 2008.
- [3]. Atmel Corporation, (2009) *8-bit Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash, 7674E-AVR-02/09* <http://www.atmel.com/>
- [4]. Application Note *Dew-point Calculation, Calculation of the dew point: The Magnus formula [Sonntag90]* (Oct 3, 2006): Westlake Village, [www.sensirion.com/.../Dewpoint\\_Calculation\\_Humidity\\_Sensor\\_E.pdf](http://www.sensirion.com/.../Dewpoint_Calculation_Humidity_Sensor_E.pdf)
- [5]. Balai Besar Industri Agro (2 s/d 4 Mei 2007) Ketidakpastian pengukuran dalam ISO/IEC 17025: 2005 dan hubungan dengan BMC : Bogor
- [6]. Komite Akreditasi Nasional (KAN),(DP.01.23;Juni 2003), *Pedoman Evaluasi dan OPelaporan Ketidaakpastian Pengukuran*: Jakarta
- [7]. Haryanto M. Ary & Adi P. Wisnu (2008), *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega8535*, Yogyakarta: ANDI OFFSET
- [8]. Interfacing the Serial/RS-232 Port (2009) *Detailed explanations on interfacing the serial port*. 17 Maret 2009 [www.beyondlogic.org](http://www.beyondlogic.org)
- [9]. *I2C-bus specification and user manual*, Rev. 03 — 19 June 2007. *User manual*. Document information. Info. Content. [www.nxp.com](http://www.nxp.com)
- [10]. Pont Michael J. (2002), *Embedded C*, Addison - Wesley
- [11]. SanDisk Corporation, (April 2005) *MultiMediaCard/RS-MultiMediaCard Product Manual*, [www.sandisk.com](http://www.sandisk.com)
- [12]. Sears & Zemansky (1962) *Fisika untuk Universitas I Mekanika, Panas , dan Bunyi* (Amir Achmad, Soedarjana, Penyadur) Jakarta: Binacipta
- [13]. Steven F. Barrett & Daniel J. Park,( 2006 copy by Morgan&Claypool) *Microcontroller Fundamentals for Engineers and Scientists* [www.morganclaypool.com](http://www.morganclaypool.com) : USA

- [14]. Tompkins J Willis,(1992) *Interfacing Sensor to the IBM PC*, Prentice Hall,  
:Singapore
- [15]. Wikipedia (5 May 2009) *Automatic Weather Station (AWS)*  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_weather\\_station](http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_weather_station)
- [16]. World Meteorological Organization, *Guide to Meteorological Instruments  
and Methods of Observation*,( 2008) Sevent Edition: Geneva

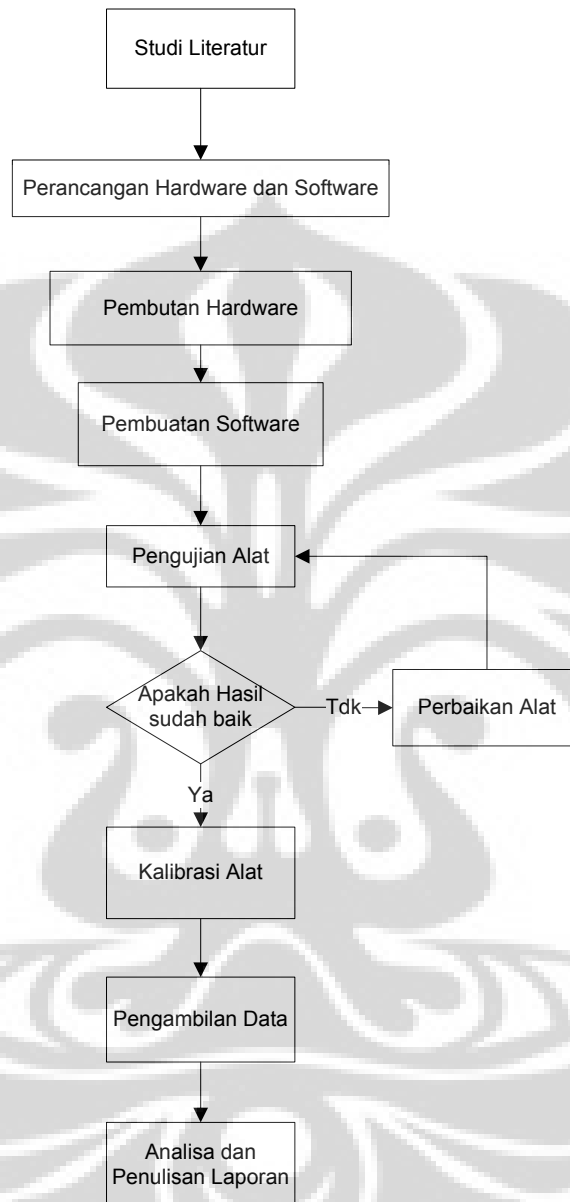


LAMPIRAN – LAMPIRAN

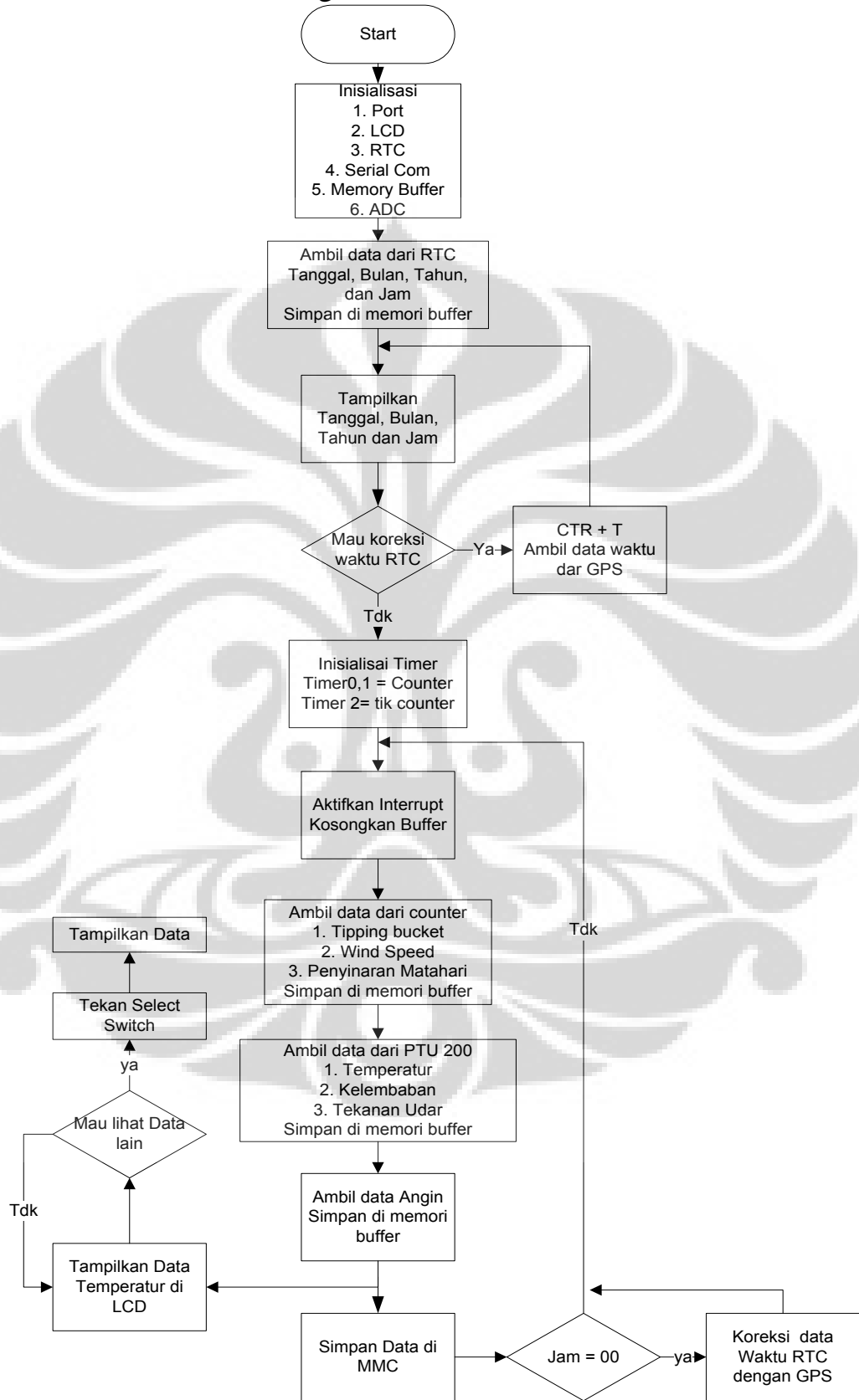


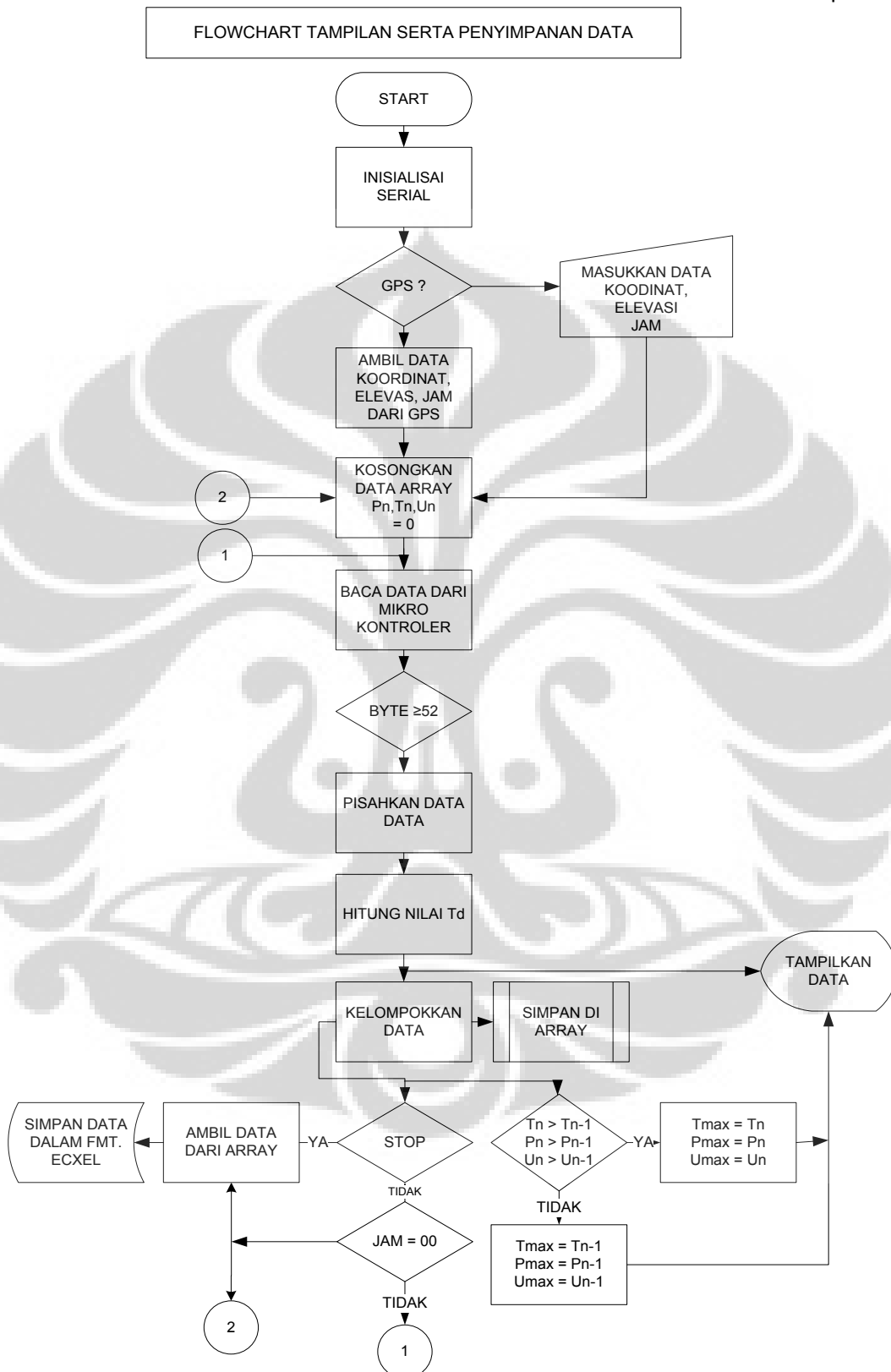


Diagram Alur Penelitian

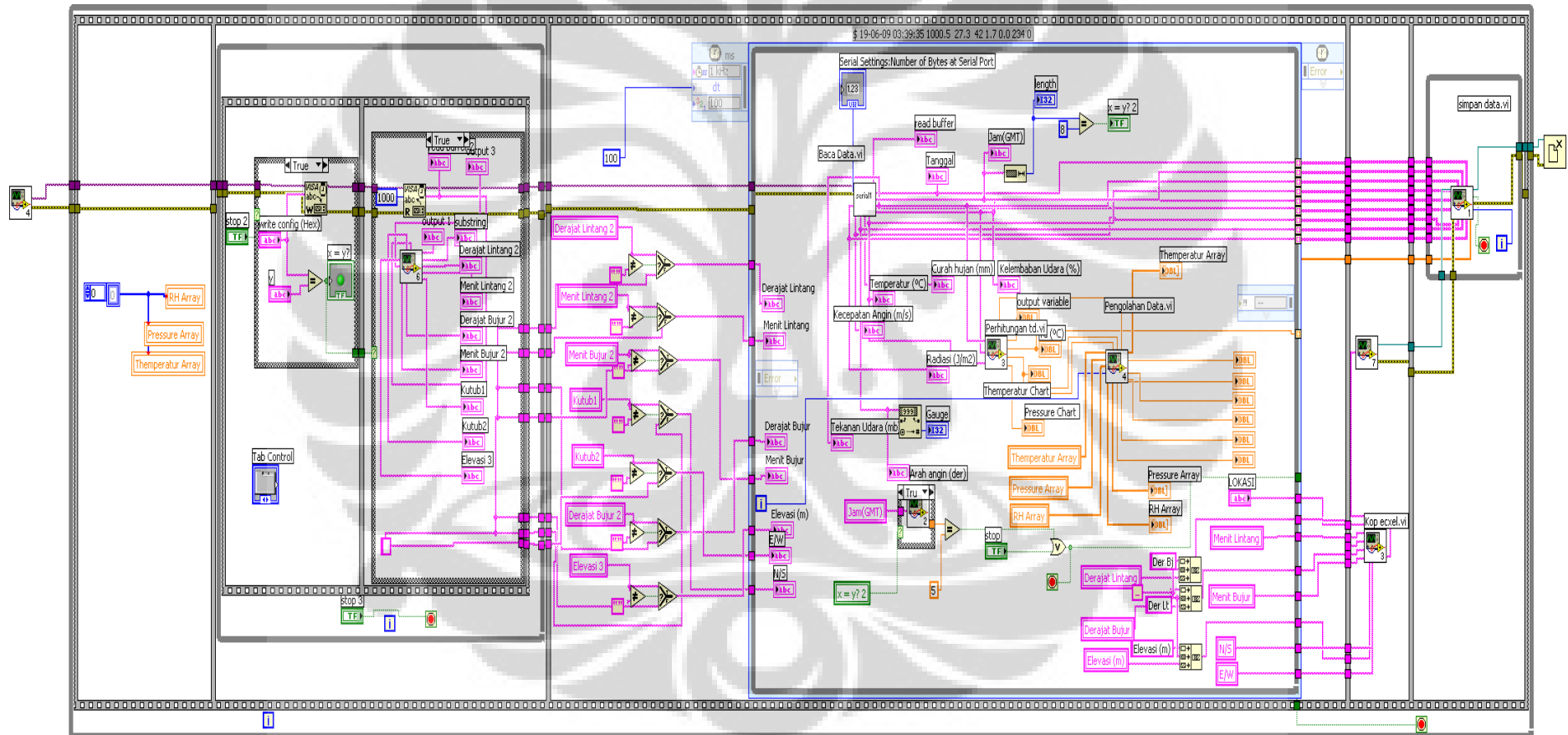


### Diagram Alur Software





# Blok Diagram LabView



## Data Sheet ATmega 164P

## Features

- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 × 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 16/32/64K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
  - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
  - In-System Programming by On-chip Boot Program
  - True Read-While-Write Operation
  - 512B/1K/2K Bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 1/2/4K Bytes Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- 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
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC
  - Differential mode with selectable gain at 1x, 10x or 200x<sup>(1)</sup>
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Two Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- 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
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V for ATmega164P/324P/644P
- Speed Grades
  - ATmega164P/324P/644P: 0 - 8MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 8 MHz, 5V, 25°C for ATmega644P
  - Active mode: 8 mA
  - Idle mode: 2.4 mA
  - Power-down Mode: 0.8 µA



8-bit **AVR**®  
Microcontroller  
with 16/32/64K  
Bytes In-System  
Programmable  
Flash

ATmega164P  
ATmega324P  
ATmega644P

Automotive

7674E-AVR-02/09



```

/*****
Program AWS
Dibuat oleh : Kanton L. Toruan
Tanggal : 06 – 06-2009
*****/
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdio.h>

#include "uart.h"
#include "lcd4.h"
#include "adc.h"
#include "rtc.h"

#define E0    4
#define E1    5

#define E0_ON()      PORTD |= (1 << E0);
#define E0_OFF()    PORTD &= ~(1 << E0);
#define E1_ON()      PORTD |= (1 << E1);
#define E1_OFF()    PORTD &= ~(1 << E1);

char date[10], time[10], buf[10], dbuf[70],tekanan[7],suhu[6], rh[4], ddata, pos[35];
double chujan, speed;
unsigned char mode, dlen, flag, cflag, i, j, htick, dadc[2];
unsigned short dir1, dir2, arah, tick, joule;

//Tampilkan data di LCD
void lcd_view(void) {

    lcd_clr(); //Hapus LCD

    //Pilih nilai yang akan ditampilkan di LCD
    switch ((mode/2)) {

        case 0 :
            //Ambil Tekanan
            lcd_strP(PSTR("PP: "));
            lcd_gotoxy(4,0);
            lcd_str(&tekanan[0]);

```

```
        break;
case 1 :
    //Ambil Suhu
    lcd_strP(PSTR("TT: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&suhu[0]);
    break;
case 2 :
    //Ambil rh
    lcd_strP(PSTR("RH: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&rh[0]);
    break;
case 3 :
    //Curah hujan
    sprintf(&buf[0],"%.1f ",chujan);
    lcd_strP(PSTR("RR: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&buf[0]);
    break;
case 4 :
    //Ambil Kecepatan angin
    sprintf(&buf[0],"%.1f ",speed);
    lcd_strP(PSTR("FF: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&buf[0]);
    break;
case 5 :
    //Arah angin
    sprintf(&buf[0],"%d ",arah);
    lcd_strP(PSTR("DD: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&buf[0]);
    break;
case 6 :
    //Ambil RDS
    sprintf(&buf[0],"%d",joule);
    lcd_strP(PSTR("EE: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&buf[0]);
    break;
default :
    lcd_strP(PSTR("TT: "));
    lcd_gotoxy(4,0);
    lcd_str(&suhu[0]);
```

```

}

lcd_lf(); //Pindah baris pada LCD
time[5] = '\0';
lcd_str(&date[0]); //Tampilkan tanggal
lcd_gotoxy(11,1);
lcd_str(&time[0]); //Tampilkan jam
}

void uart_log (void)
{

//Kirim ke UART Computer
if (cflag) { //Pastikan pada saat mode running
    uart0_strP(PSTR("$ "));
    //Kirim Tanggal
    uart0_str(&date[0]);
    uart0_strP(PSTR(" "));
    //Kirim Jam
    uart0_str(&time[0]);
    uart0_strP(PSTR(" "));
    //Kirim Tekanan
    uart0_str(&tekanan[0]);
    uart0_strP(PSTR(" "));
    //Kirim Suhu
    uart0_str(&suhu[0]);
    uart0_strP(PSTR(" "));
    //Kirim RH
    uart0_str(&rh[0]);
    uart0_strP(PSTR(" "));
    //Kirim Curah Hujan
    sprintf(&buf[0], "%.1f ",chujan);
    uart0_str(&buf[0]);
    //Kirim Speed
    sprintf(&buf[0], "%.1f ",speed);
    uart0_str(&buf[0]);
    //Kirim Arah Angin
    sprintf(&buf[0], "%d ",arah);
    uart0_str(&buf[0]);
    //Kirim RDS
    sprintf(&buf[0], "%d ",joule);
    uart0_str(&buf[0]);

//Kirim Pindah baris
    uart0_strP(PSTR("\r\n"));
}
}

```



```

    }
}

ISR(PCINT2_vect)
{
    //Curah Hujan
    chujan = (float) (chujan + 0.1);
}

ISR(PCINT3_vect)
{
    //Control LCD
    if (mode < 13) {
        mode += 1;
    } else {
        mode = 0;
    }

    lcd_view();
}

void invalid(void)
{
    uart0_strP(PSTR("Error CMD\r\n"));
}

//Menerima data dari komputer dan GPS
ISR(USART0_RX_vect)
{
    //UART 0 dari GPS dan Komputer
    if (flag) {

        ddata = UDR0;

        if (ddata != 13 && ddata != 10) {

            dbuf[dlen] = ddata;
            dlen++;

        } else {

            if (dbuf[0] == '$' && dbuf[1] == 'G' && dbuf[2] == 'P' && dbuf[3] ==
'G' && dbuf[4] == 'G' && dbuf[5] == 'A') {

                E0_OFF();
            }
        }
    }
}

```

```
buf[0] = dbuf[7];
buf[1] = dbuf[8];
buf[2] = '.';
buf[3] = dbuf[9];
buf[4] = dbuf[10];
buf[5] = '.';
buf[6] = dbuf[11];
buf[7] = dbuf[12];
```

```
settime(&buf[0]);
```

```
//Ambil posisi
```

```
i = 0;
```

```
j = 14;
```

```
while (j < 38) {
    pos[i] = dbuf[j];
    i++;
    j++;
}
```

```
j = 47;
```

```
while (j < 54) {
    pos[i] = dbuf[j];
    i++;
    j++;
}
```

```
pos[i] = '\0';
```

```
dlen = 0;
```

```
flag = 0;
```

```
cflag = 1;
```

```
E1_ON();
```

```
} else {
```

```
    dlen = 0;
```

```
}
```

```
}
```

```
} else {
```

```

ddata = UDR0;

if (ddata == 0x13) { //CTRL+S -> seting manual

    cflag = ~(cflag) & 0x01;
    dlen = 0;
    flag = 0;

} else if (ddata == 0x14) { //CTRL+T -> update waktu ke gps secara manual

    flag = 1; // Update Time
    cflag = 0;
    dlen = 0;
    E0_ON();
    E1_OFF();

} else if (ddata == 0x10) { //CTRL+P 0 -> menampilkan posisi dari AWS

    cflag = 0;
    uart0_str(&pos[0]);
    cflag = 1;

} else {

    if (!(cflag)) {

        if (ddata != 13) {

            dbuf[dlen] = ddata;
            uart0_char(ddata);
            dlen++;

        } else {

            dbuf[dlen] = '\0';
            uart0_strP(PSTR("\r\n"));

            if (dbuf[0] == '$') {

                if (dbuf[1] == 't') {

                    uart0_str(&date[0]);
                    uart0_strP(PSTR(" "));
                    uart0_str(&time[0]);
                    uart0_strP(PSTR("\r\n"));
                }
            }
        }
    }
}

```

```
} else if (dbuf[1] == 'm') {

    //Baca data dalam mmc
    //readFile(&buf[0]);

    }
    else if (dbuf[1] == 's')
    {

        // Seting date time
        //$s 12-04-09 12:45:34 [tekan enter]
        i = 0;
        j = 3;

        while ( i < 8) {

            date[i] = dbuf[j];
            i++;
            j++;

        }
        i = 0;
        j = 12;
        while ( i < 8) {
            time[i] = dbuf[j];
            i++;
            j++;

        }

        setdate(&date[0]);
        settime(&time[0]);

    } else {

        invalid();

    }

} else {

    invalid();

}

}

}
```

```

    }
}

ISR(USART1_RX_vect)
{
    if (cflag) { //Pastikan menerima data pada saat mode running
        ddata = UDR1;
        if (ddata != 13 && ddata != 10) {
            dbuf[dlen] = ddata;
            dlen++;
        } else {
            //Copy nilai tekanan
            j=0;
            for (i = 0; i < 6; i++){
                tekanan[j] = dbuf[i];
                j++;
            }
            tekanan[j] = '\0';
            //Copy suhu
            j = 0;
            for (i = 11; i < 16; i++) {
                suhu[j] = dbuf[i];
                j++;
            }
            suhu[j] = '\0';
            //Copy rh
            j = 0;
            for (i = 20; i < 23; i++) {
                rh[j] = dbuf[i];
                j++;
            }
            rh[j] = '\0';
            dbuf[dlen] = '\0';
            //uart0_str(&dbuf[0]);
            //uart0_strP(PSTR("\r\n"));
            dlen = 0;
        }
    }
}

ISR(TIMER2_OVF_vect )
{
    tick++;
}

```

```

if (tick%2 == 1) { //Setiap 10 detik sekali kirim ke UART
    uart_log();
    lcd_view();

} else if (tick > 3599) { //Jika sudah satu 10 detik

    //reset counter curah hujan
    chujan = (float) 0.0;

    // Cek apakah udah jam 1 malam
    if (time[0] == '0' && time[1] == '1') {

        //Reset RDS
        //TCNT1H = 0;
        //TCNT1L = 0;
        //Update time ke GPS
        flag = 1;
        cflag = 0;
        dlen = 0;
        E0_ON();
        E1_OFF();
    }

    tick = 0;
}

TCNT2 = 128;
}
int main (void)
{
    DDRD |= (1 << PD4)|(1 << PD5)|(0 << PD6);

    E0_OFF();
    E1_ON();
    //Inisialisasi UART
    uart_init();
    uart0_strP(PSTR("Uart Init\r\n"));
    //Iniasialisasi LCD
    lcd_init();
    lcd_strP(PSTR("LCD Init"));
    _delay_ms(1000);
    //Inisialisasi ADC dan RTC
    adc_init();
    rtc_init();
}

```

```

//Tampilkan tanggal dan jam pada lcd
getrtc(&time[0],&date[0]);

lcd_clr();
lcd_str(&date[0]);
lcd_lf();
lcd_str(&time[0]);

_delay_ms(1000);

//Inisialisasi timer 0 jadi counter untuk Speed
TCCR0A = 0;
TCCR0B = 0; //6 gunakan eksternal clock
TCNT0 = 0;

//Counter 1 untuk rds
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0; //Gunakan eksternal clock
TCCR1C = 0;
TCNT1H = 0;
TCNT1L = 0;

//Timer 2 jadi tick timer interval 1 detik
TIMSK2 |= (1 << TOIE2);

TCCR2A = 0;
TCCR2B = 6; //6 prescaler 256

TCNT2 = 128; // 128

ASSR = (1 << AS2); //Gunakan eksternal clock pada TOSC0 dan TOSC1 -> 32,..Khz

//Aktifkan interrupt untuk curah hujan

PCICR = (1 << PCIE2)|(1 << PCIE3);

//Untuk Curah Hujan
DDRC |= (0 << PC2);
PCMSK2 |= (1 << PCINT18);

//Untuk CTRL LCD
DDRD |= (0 << PD6);
PCMSK3 |= (1 << PCINT30);

//Inisialisasi variabel

```

```

chujan = (float) 0.0;
speed = (float) 0.0;
//rds = 0;
mode = 2;
dlen = 0;
cflag = 1;
//freq = 0;
tick = 0; //Menghitung jumlah detik
htick = 0; //Menghitung jumlah jam
joule = 0;

//Inisialisasi buffer
tekanan[0] = '0';
tekanan[1] = '\0';
suhu[0] = '0';
suhu[1] = '\0';
rh[0] = '0';
rh[1] = '\0';

//Konfigurasi PTU200
uart1_strP(PSTR("reset"));
uart1_char(13);
uart1_strP(PSTR("intv 10 s"));
uart1_char(13);
uart1_char('r');
uart1_char(13);

//Aktifkan global interrupt
sei();

while(1){

    //Get time
    getrtc(&time[0],&date[0]);

    //Get direction
    adc_get_data(&dadc[0],0);
    dir1 = (((dadc[1] << 8) | dadc[0])*10)/57;

    adc_get_data(&dadc[0],1);
    dir2 = (dadc[1] << 8) | dadc[0];

    if (dir2 < 511) {

        if (dir1 == 0) {
            arah = 360;

```



```

        } else {
            arah = dir1;
        }

    } else if (dir2 > 511) {

        arah = 360 - dir1;

    } else {

        arah = 180;

    }

    //Get speed;
    TCCR0B = 6;
    _delay_ms(1000);
    TCCR0B = 0;
    speed = (float) (TCNT0 * 7)/10;
    TCNT0 = 0;

    //Get RDS;
    TCCR1B = 6;
    _delay_ms(1000);
    TCCR1B = 0;
    joule = ((TCNT1H << 8) | TCNT1L) * 5;
    TCNT1H = 0;
    TCNT1L = 0;

    //lcd_view();

    //Tunda 2 detik
    //_delay_ms(1000);

}

return 0;

}

```