

**ATOMATIC WEATHER SYSTEM
PADA PENENTUAN *FULL SCALE ERROR*
PENGUKURAN IRRADIASI SURYA**



OLEH

**AKMAL
105 82 1260 13**

**MUSTAQIM
105 82 1291 13**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2017**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Akmal dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1260 13 dan Mustaqim dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1291 13, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 005/SK-Y/20201/091004/2017, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 04 November 2017

Panitia Ujian :

Makassar,

29 Shafar 1439 H

18 November 2017 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

b. Sekretaris : Adriani, S.T.,M.T.

3. Anggota : 1. Andi Fajaruddin, S.T.,M.T.

2. Dr. Umar Katu, S.T.,M.T.

3. Ir. Abd Hafid, M.T.

Mengetahui :

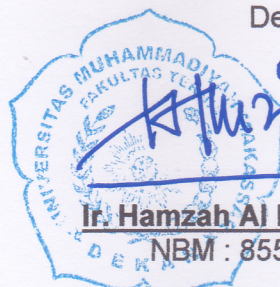
Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T.,M.T

Dekan



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

NBM : 855 500



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **AUTOMATIC WEATHER SISTEM PADA PENENTUAN SCALE ERROR PENGUKURAN IRRADIASI SURYA.**

Nama : 1. Akmal
2. Mustaqim

Stambuk : 1. 10582 1260 13
2. 10582 1291 13

Makassar, 18 November 2017

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

NBM : 990 410

KATA PENGANTAR

Segala puji kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas segala bentuk nikmat yang dianugerahkan kepada kita, sehingga kami bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “ ***Automatic Weather Sistem Pada Penentuan Full Scale Error Pengukuran Irradiasi Surya***”.

Sholawat serta Salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat – sahabatnya, serta semoga semua umatnya senantiasa dapat menjalankan syari’at-syari’atnya.

Kami menyadari sepenuhnya, bahwa dalam penyusunan skripsi ini banyak kekurangan mengingat terbatasnya kemampuan kami, namun berkat rahmat Allah SWT serta pengarahan dari berbagai pihak , akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Harapan kami semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kepentingan bersama.

Sehubungan dengan itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, S.E, M.M, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Ir. Hamzah Al Imran, S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Dr. Umar Katu, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar
4. Dr.Eng.Ir.H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng, selaku Pembimbing I
5. Rizal Ahdiyut Duyo, S.T,M.T, selaku Pembimbing II

6. Seluruh Dosen Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
7. Kedua orang tua dan kedua adik saya.
8. Seluruh rekan – rekan dan sahabat seperjuangan Teknik Elektro 2013 Universitas Muhammadiyah Makassar.

Setelah melalui proses yang panjang dan penuh tantangan, akhirnya kami dapat menyelesaikan skripsi ini yang tentunya masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Walaupun demikian, kami berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan khususnya pada diri pribadi.

Demikianlah ucapan terima kasih kami selaku penulis. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan terbaik atas jasa-jasa yang telah diberikan kalian. Baik di dunia maupun di akhirat.

Makassar, 01 Januari 2018

Penulis

Akmal¹, Mustaqim²

¹Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar
email: akmalteknik.at@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar
email: mustaqimkb@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Akmal dan Mustaqim; (2018) Automatic Weather Sistem Pada Penentuan Full Scale Error Pengukuran Irradiasi Surya dibimbing oleh Zulfajri Hasan Basri Hasanuddin (pembimbing I) dan Rizal A. Duyo (pembimbing II). Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) akan lebih *efisien* jika dilakukan di tempat yang memiliki potensi energi surya yang tinggi. Potensi energi surya dapat diketahui melalui data-data irradiasi surya, temperatur dan kelembapan relatif. Alat yang dibuat menggunakan *Arduino* sebagai *mikrokontroler*, baterai sebagai catu daya, *pyranometer* sebagai sensor irradiasi surya, modul STH1x sebagai sensor temperatur dan kelembapan relatif, dan modul GPS sebagai sensor posisi dan waktu. Hasil pengukuran ditampilkan dengan *LCD* dan disimpan dalam *SD Card*. Dalam hasil kalibrasi dengan *Automatic Weather Sistem* (AWS) diketahui bahwa alat yang dibuat memiliki *full scale error* rata-rata untuk pengukuran irradiasi surya sebesar 1,33%; temperatur sebesar 5,12%; dan kelembapan relatif sebesar 4,45%. Sedangkan standar *deviasi* kesalahan mutlak untuk pengukuran irradiasi sebesar 19,82; temperatur sebesar 0,33 dan kelembapan sebesar 1,42. Selain itu diukur juga potensi energi surya di beberapa tempat di kota Makassar dengan nilai insolasi rata-rata di sisi jalan raya, Jalan Prof.DR.Ir.Soetami Kel. Parangloe Kec. Tamalanrea 3,79 kWh/m²/hari; di Perumahan Teuku Mansion di Jalan Teuku Umar Raya Kel. Kaluku Bodoa Kec. Tallo 3,70 kWh/m²/hari; dan di Taman PT. *Katingan Timber Group* Bontoa Barat Kel. Parangloe Kec. Tamalanrea. 2,30 kWh/m²/hari.

Kata kunci: pengukuran, irradiasi surya, insolasi, temperatur, kelembapan relatif, Arduino.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Metodologi Penelitian	4
G. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
A. Irradiasi Surya	6
1. Irradiasi Ekstraterestrial	6
2. Irradiasi Terrestrial	7
B. Pengaruh Temperatur dan Kelembapan Relatif terhadap Irradiasi Surya	9
1. Pengaruh Kelembapan Relatif terhadap irradiasi Surya	9
2. Pengaruh Temperatur terhadap Irradiasi Surya.....	12

C. Pengukuran	
1. Pengukuran Irradiasi Surya	13
2. Pengukuran Temperatur Udara.....	14
3. Pengukuran Kelembapan Relatif	16
D. Pengenalan Mikrokontroler	16
E. Pengenalan Modul GPS.....	18
F. Pengenalan SHT1x	19
G. Pengenalan Arduino SD Card Shield	20

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	22
B. Metode Penelitian	22
C. Perancangan Alat.....	23
1. Konfigurasi Secara Keseluruhan	23
2. Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer.....	24
3. Perancangan Rangkaian Catu Daya Pengondisi Sinyal Pyranometer.....	25
4. Perancangan Rangkaian Sensor Temperatur Dan Kelembapan Relatif.....	26
5. Perancangan Stevenson Screen	27
6. Perancangan Rangkaian Modul GPS	28
7. Perancangan Rangkaian LCD	29
8. Arduino SD Card Shield.....	31

9. Perancangan Antarmuka Perangkat.....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Linieritas Rangkaian Pengondisi	
Sinyal Pyranometer.....	37
B. Kalibrasi Alat	39
C. Pengukuran Insolasi di Kota Makassar	
1. Jalan Prof. Dr. Ir. Soetami Kel. Parangloe	
Kec. Tamalanrea.....	45
2. Perumahan Teuku Mansion Teuku Umar Raya	
Kel. Kaluku Bodoa Kec. Tallo.....	47
3. Taman PT. Katingan Timber Celebes Bontoa Barat	
Kel. Parangloe Kec. Tamalanrea.....	48
4. Analisis Hasil Pengukuran Insolasi.....	49
BAB 5 PENUTUP	
A. Kesimpulan	50
B. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Distribusi spektrum irradiasi surya
- Gambar 2.2 Skema komponen irradiasi surya dan mekanisme atenuasi irradiasi surya di atmosfer
- Gambar 2.3 Bagian-bagian pyranometer
- Gambar 2.4 Stevenson screen
- Gambar 2.5 Arduino Uno
- Gambar 2.6 (a) Chip SHT1x dan (b) modul SHT1x yang telah diintegrasikan dengan printed circuit board (PCB)
- Gambar 2.7 Skema komunikasi SPI
- Gambar 2.8 Arduino SD card shield
- Gambar 3.1 Konfigurasi sistem secara keseluruhan
- Gambar 3.2 Skema rangkaian pengondisi sinyal pyranometer
- Gambar 3.3 Skema rangkaian catu daya pengondisi sinyal pyranometer
- Gambar 3.4 Antarmuka perangkat
- Gambar 3.5 Hasil pengukuran pendahuluan irradiasi surya
- Gambar 3.6 Spektrum pengukuran pendahuluan irradiasi surya
- Gambar 3.7 Diagram alir sketch Arduino
- Gambar 4.1 Rangkaian Pembagi Tegangan Pengganti Pyranometer
- Gambar 4.2 Grafik Hubungan Input dan Output Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer
- Gambar 4.3 Grafik Hubungan Input Analog dan Hasil Pembacaan Arduino

Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengukuran Irradiasi Surya oleh Alat dan AWS

Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengukuran Temperatur Oleh Alat dan AWS

Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengukuran Kelembapan Relatif oleh Alat dan
AWS

Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengukuran kelembapan Relatif Oleh Alat dan
AWS tanggal 11 – 27 Juli 2017

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Nilai transmitivitas atmosfer untuk berbagai kondisi langit
- Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno
- Tabel 2.3 Spesifikasi modul SHT1x
- Tabel 3.1 Penggunaan pin Arduino untuk SHT1x
- Tabel 3.2 Penggunaan pin Arduino untuk modul GPS
- Tabel 3.3 Struktur Kalimat GPRMC
- Tabel 3.4 Penggunaan pin Arduino untuk LCD
- Tabel 3.5 Penggunaan pin Arduino untuk SD card shield
- Tabel 4.1 Hasil pengujian linieritas rangkaian pengondisi sinyal pyranometer
- Tabel 4.2 Parameter akurasi dan presisi alat setelah kalibrasi pada tanggal 11-27 Juli 2017
- Tabel 4.3 Parameter akurasi dan presisi alat setelah kalibrasi pada tanggal 01-14 Agustus 2017
- Tabel 4.4 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur dan kelembapan relatif pada tanggal 16-23 Agustus 2017
- Tabel 4.5 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur dan kelembapan relatif pada tanggal 03-10 September 2017
- Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Irradiansi surya, temperatur dan Kelembapan reltif pada tanggal 15-22 September 2017

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai negara yang dilalui garis khatulistiwa, Indonesia memiliki sumber energi surya yang melimpah. Matahari bersinar dengan durasi yang relatif sama dalam setiap hari sepanjang tahunnya. Dengan durasi penyinaran matahari rata-rata sekitar 12 jam per hari dengan energi rata-rata harian sebesar $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, Indonesia dapat dikatakan memiliki potensi energi surya yang tinggi. Seluruh wilayah Indonesia, Lampung, Jawa Tengah, Sulawesi, Papua, Bali, NTB, dan NTT memiliki potensi energi surya rata-rata harian tertinggi, yaitu sekitar $5,7 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. Sedangkan potensi energi surya rata-rata harian di Jawa Barat, khususnya Bogor dan Bandung hanya sekitar $2,56$ dan $4,15 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$.

Meskipun potensinya cukup tinggi, pemanfaatan energi surya untuk dikonversi menjadi energi listrik belum banyak dilakukan di Indonesia. Hal ini disebabkan ketersediaan energi surya di Indonesia sepanjang tahunnya tidak merata. Indonesia yang wilayahnya terdiri atas pulau-pulau yang dikelilingi lautan memiliki kelembapan relatif yang cukup tinggi. Hal ini menyebabkan langit Indonesia hampir selalu diselimuti awan. Awan di atmosfer akan menghalangi irradiasi surya sampai di permukaan bumi. Di musim hujan awan yang terbentuk lebih banyak sehingga irradiasi surya yang diterima akan menurun drastis.

Selain itu, *efisiensi konversi* energi surya menjadi energi listrik masih relatif rendah, yaitu sekitar 12-20%. Nilai investasi untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya juga masih cukup tinggi, yaitu sebesar US\$1.650/kW, sehingga harga listrik yang dihasilkan belum ekonomis, yaitu sekitar Rp8.500/kWh. Untuk skala rumah tangga harga listrik ini masih jauh lebih mahal dibandingkan harga listrik yang dihasilkan sumber *konvensional* saat ini, yaitu Rp629/kWh untuk batas daya 1300 VA.

Hal inilah yang menyebabkan pembangkit listrik tenaga surya, khususnya di Indonesia, baru dibangun untuk keperluan riset atau instansi dan dalam skala kecil. Pembangkitan listrik memanfaatkan energi surya untuk skala komersial baru akan tercapai jika biaya *investasinya* sudah *relatif* rendah dan *efisiensi* pembangkitannya sudah cukup tinggi.

B. Rumusan Masalah:

Adapun rumusan masalah adalah :

- Bagaimana hasil pengukuran *insolasi* energi surya yang dilakukan di tiga lokasi di Kota Makassar dengan waktu pengukuran selama tujuh hari?
- Berapa besar *full scale error* rata-rata untuk pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif hasil kalibrasi alat dengan *Automatic Weather System (AWS)* di Makassar?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

- Membuat *sistem monitoring* potensi energi surya *portable* yang dapat digunakan di lingkup kecamatan, kelurahan, atau desa.
- Mengukur besarnya energi surya di Kota Makassar.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- besaran yang diukur sebagai informasi potensi energi surya adalah irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif.
- Pengukuran energi surya dilakukan di 3 lokasi di Kota Makassar.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian adalah :

- Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan sebuah perangkat yang dapat memantau potensi energi surya dalam lingkup yang lebih kecil (kecamatan, kelurahan, atau desa).
- Data-data potensi energi surya dalam lingkup yang lebih kecil ini akan sangat bermanfaat guna melakukan *analisis* lebih lanjut apabila di daerah tersebut akan dibangun pembangkit listrik tenaga surya.

F. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. *Studi literatur* tentang potensi energi surya, irradiasi surya, hal-hal yang mempengaruhi irradiasi surya, *mikrokontroler*, pengukuran, dan konsep dasar elektronika.
2. Perancangan dan pembuatan alat *monitoring* potensi energi surya.
3. Pengujian dan kalibrasi dengan alat standar.
4. *Evaluasi* kinerja dan perancangan kembali alat.
5. Pengukuran potensi energi surya tempat di Kota Makassar.
6. Pengolahan data.
7. *Analisis* data.
8. Pembuatan laporan tugas akhir.

G. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang dilakukannya penelitian, permasalahan yang akan dipecahkan, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi pengenalan hal-hal penting tentang irradiasi surya, temperatur, kelembapan relatif, pengukuran, dan perangkat-perangkat keras yang digunakan.

Bab 3 *Metodologi* Penelitian

Bab ini berisi konfigurasi sistem yang akan dibuat, asumsi-asumsi, perhitungan-perhitungan, dan alur kerja program.

Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini berisi pengujian rancangan yang telah dibuat, kalibrasi rancangan dengan alat standar, pengukuran energi surya, dan analisis data.

Bab 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Irradiasi Surya

Besarnya energi surya yang sampai ke permukaan bumi dinyatakan dalam *insolasi*. *Insolasi* adalah jumlah energi matahari yang diterima sebuah luasan. *Insolasi* dilambangkan dengan H dan memiliki satuan standar J/m^2 atau kWh/m^2 .

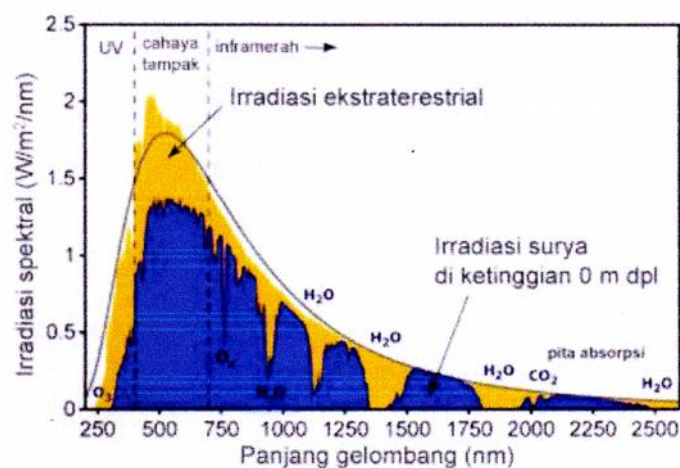
Meskipun demikian, dalam tugas akhir ini besaran yang akan digunakan untuk menyatakan besarnya energi surya adalah irradiasi. Irradiasi surya adalah jumlah energi matahari yang diterima setiap satuan waktu oleh sebuah luasan. Irradiasi surya dinyatakan dalam lambang E dengan Satuan standar W/m^2 .

Irradiasi surya dapat dibagi menjadi irradiasi *ekstraterestrial* dan irradiasi *terestrial*. Berikut akan dipaparkan secara singkat irradiasi *ekstraterestrial* dan irradiasi *terestrial*.

1. Irradiasi *Ekstraterestrial*

Irradiasi *ekstraterestrial* adalah irradiasi surya di atas lapisan atmosfer bumi. Besarnya irradiasi *ekstraterestrial* dinyatakan dalam konstanta matahari, E_{sc} , yaitu laju penerimaan energi matahari pada sebuah luasan yang tegak lurus dengan berkas sinar datang matahari pada jarak rata-rata bumi dan matahari. Berdasarkan pengukuran, nilai konstanta matahari ditetapkan sebesar $1367 W/m^2$.

Pada gambar di bawah ini menunjukkan *distribusi spektrum* dari irradiasi *ekstraterrestrial* matahari. Sebesar 99% irradiasi surya didapatkan dari panjang gelombang antara 200 sampai dengan 4000 nm. Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai spektral irradiasi surya mula-mula meningkat secara signifikan seiring dengan pertambahan panjang gelombang dan mencapai nilai maksimum pada panjang gelombang sekitar 480 nm kemudian berkurang secara *asimtotik* menuju nol.



Gambar 2.1 *Distribusi spektrum* irradiasi surya

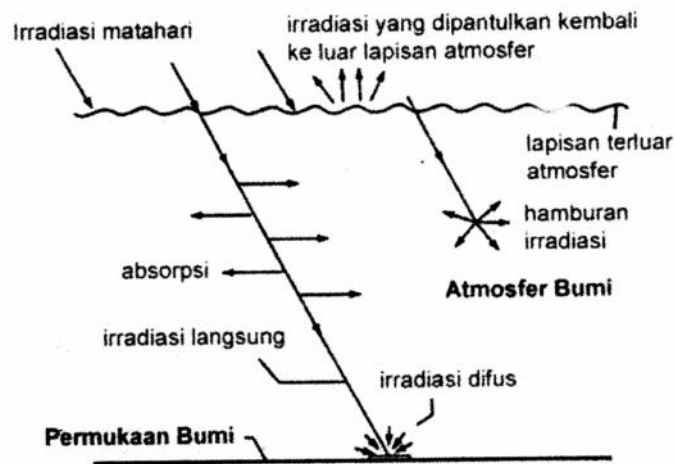
Nilai irradiasi *ekstraterrestrial* matahari dapat didekati dengan hukum *Planck* dan hukum *Stefan-Boltzmann* dengan mengasumsikan matahari sebagai benda hitam pada temperatur 5779 K.

2. Irradiasi *Terrestrial*

Irradiasi *terrestrial* adalah irradiasi surya yang diterima di permukaan bumi. Dalam perjalanannya sampai ke permukaan bumi

irradiasi surya mengalami atenuasi akibat *absorpsi*, *refleksi*, maupun penghamburan oleh partikel-partikel di *atmosfer*.

Absorpsi terjadi terutama oleh lapisan *ozon* dan uap air di *atmosfer*, serta gas-gas lain seperti CO₂, NO₂; CO, O₂, dan CH₄. *Refleksi* terjadi di lapisan terluar *atmosfer* bumi. Sementara penghamburan disebabkan oleh semua molekul gas dan partikel-partikel lain di *atmosfer*. Oleh partikel-partikel tersebut, irradiasi dihamburkan ke segala arah, sebagian kembali ke luar lapisan *atmosfer* dan sebagian lainnya ke permukaan bumi. Gambar 2.2 mengilustrasikan atenuasi irradiasi surya akibat *absorpsi*, *refleksi*, dan penghamburan.



Gambar 2.2 Skema komponen irradiasi surya dan *mekanisme atenuasi* irradiasi surya di *atmosfer*

Setelah sampai di permukaan bumi, irradiasi surya dapat dibagi menjadi dua komponen, yaitu irradiasi langsung dan irradiasi difus, Irradiasi langsung adalah irradiasi surya yang diterima di permukaan

bumi tanpa mengalami perubahan arah, yaitu segaris dengan arah datang berkas sinar matahari.

Irradiasi langsung akan terjadi pada kondisi langit cerah dan tidak terhalang awan. Sedangkan irradiasi *difus* adalah irradiasi surya yang telah mengalami perubahan arah karena dihamburkan oleh partikel-partikel di *atmosfer*, awan, dan benda-benda di permukaan bumi. Jumlah dari irradiasi langsung dan irradiasi *difus* disebut irradiasi *global*. Besarnya irradiasi global di permukaan bumi pada saat matahari di titik *zenit* dan kondisi langit cerah adalah sekitar 1000 W/m^2 .

B. Pengaruh Temperatur dan Kelembapan Relatif terhadap Irradiasi Surya

Besarnya irradiasi surya yang sampai ke bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain sudut elevasi matahari, durasi penyinaran matahari, jarak bumi dan matahari, dan iklim setempat.

Parameter-parameter iklim yang dimaksud meliputi temperatur, kelembapan relatif, kecepatan angin, dan curah hujan. Berikut akan dipaparkan pengaruh dua parameter iklim, yaitu temperatur dan kelembapan relatif terhadap irradiasi surya.

1. Pengaruh Kelembapan Relatif terhadap Irradiasi Surya

Besarnya irradiasi surya yang sampai ke permukaan bumi salah satunya dipengaruhi oleh kelembapan udara. Kelembapan udara dapat dibedakan menjadi kelembapan mutlak dan kelembapan relatif.

Kelembapan mutlak atau konsentrasi uap air adalah perbandingan massa uap air yang terkandung di udara terhadap satuan volume udara tersebut, Sedangkan kelembapan relatif adalah perbandingan massa uap air yang terkandung di udara terhadap massa uap air *maksimum* yang dapat ditampung udara tersebut. Kelembapan relatif juga dapat *didefinisikan* sebagai perbandingan antara tekanan uap air di udara terhadap tekanan saturasi uap air.

Daerah yang memiliki kelembapan relatif yang tinggi akan memiliki kecenderungan untuk selalu berawan. Keberadaan awan di *atmosfer* akan mengurangi *transmitivitas atmosfer*. *Transmitivitas atmosfer* adalah *persentase* irradiansi langsung yang sampai ke permukaan bumi tanpa mengalami penghamburan di *atmosfer*. *Transmitivitas atmosfer* yang rendah akan mengurangi komponen irradiansi langsung dan menambah komponen irradiansi *difus*. Nilai *transmitivitas atmosfer* dapat dilihat di Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai *transmitivitas atmosfer* untuk berbagai kondisi langit

Kondisi langit	<i>Transmitivitas atmosfer</i>
Cerah tak berawan dengan selisih temperatur maksimum dan minimum > 10°C	0,7
Cerah dengan selisih temperatur maksimum dan minimum < 10°C	0,6
Berawan total atau hujan	0,4
Hujan di hari ini dan hari sebelumnya	0,3

Sumber : Data jenis kondisi langit di Indonesia

Besarnya irradiasi langsung yang sampai ke bumi dapat dihitung sebagai fungsi dari *transmitivitas atmosfer* seperti yang ditunjukkan persamaan:

$$E_b = E_{sc} T^m$$

Dimana :

- E_b = irradiasi langsung (W/m^2)
- E_{sc} = *konstanta* matahari ($1367 W/m^2$)
- t = *transmitivitas atmosfer*
- m = bilangan massa udara

Bilangan massa udara dapat dihitung dengan persamaan:

$$m = \frac{p_a}{101,3 \cos \theta}$$

Dimana :

- P_a = tekanan *atmosferik* (kPa)
- θ = sudut *zenit* matahari, yaitu sudut yang dibentuk antara posisi matahari dengan garis normal permukaan tempat berkas irradiasi jatuh

Sementara besarnya irradiasi difus dapat dihitung dengan persamaan

$$E_d = 0,3(1 - T^m) E_{sc} \cos \theta$$

Kelembapan udara yang tinggi juga menunjukkan bahwa kadar uap air di udara tinggi. Hal ini akan menyebabkan jumlah energi matahari yang terserap di atmosfer juga tinggi. Akibatnya irradiasi surya yang sampai di permukaan bumi menjadi berkurang.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jumlah irradiasi surya yang sampai ke permukaan bumi berbanding terbalik dengan kelembapan relatif.

2. Pengaruh Temperatur terhadap Irradiasi Surya

Meskipun tidak memiliki pengaruh langsung terhadap irradiasi surya, temperatur udara memiliki keterkaitan yang kuat dengan kelembapan relatif. Seiring dengan peningkatan temperaturnya, udara akan memiliki tekanan saturasi uap air yang lebih besar sehingga jumlah uap air yang dapat ditampungnya menjadi semakin banyak.

Jika *konsentrasi* uap air tidak bertambah, maka kelembapan relatif akan berkurang. Dengan demikian, dapat disimpulkan pada tekanan udara dan *konsentrasi* uap air yang sama, kelembapan relatif berbanding terbalik dengan temperatur udara.

Daerah dengan temperatur udara yang tinggi seperti gurun pasir pada umumnya memiliki kelembapan udara relatif yang rendah. Dengan kelembapan udara relatif yang rendah, *kondensasi* uap air akan sulit terjadi sehingga daerah tersebut jarang berawan, Kondisi ini akan meningkatkan *persentase* irradiasi surya langsung yang mencapai permukaan bumi.

C. Pengukuran

Pengukuran adalah aktivitas membandingkan nilai suatu *variabel* dengan *variabel* lain yang sudah diketahui nilainya. *Instrumen* yang digunakan untuk melakukan pengukuran disebut alat ukur. Alat ukur

yang baik adalah alat ukur yang telah diuji dan dibandingkan dengan alat ukur standar. Proses membandingkan keluaran sebuah alat ukur dengan keluaran alat ukur standar disebut dengan kalibrasi.

Performansi sebuah alat ukur ditentukan dengan karakteristiknya. Karakteristik alat ukur yang dianggap penting dalam tugas akhir ini adalah *akurasi, presisi, kesalahan, sensitivitas, resolusi, dan offset*.

- *Akurasi* adalah derajat kedekatan nilai yang ditunjukkan alat ukur terhadap nilai yang ditunjukkan alat standar (nilai benar).
- *Presisi* adalah derajat kedekatan data dalam suatu kelompok data pengukuran untuk masukan yang sama.
- Kesalahan adalah selisih nilai pengukuran alat ukur dengan nilai benar.
- *Sensitivitas* adalah perbandingan keluaran terhadap masukan alat ukur.
- *Resolusi* adalah perubahan masukan terkecil yang dapat dideteksi alat ukur.
- *Offset* adalah rentang harga output yang kemungkinan berasal dari masukan yang sama.

1. Pengukuran Irradiasi Surya

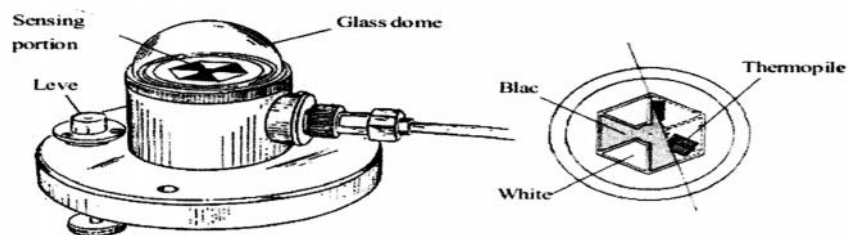
Irradiasi surya diukur dengan *radiometer*. *Radiometer* dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *pyranometer* dan *pyrheliometer*. *Pyranometer* digunakan untuk mengukur irradiasi difus atau irradiasi global yang jatuh di permukaan *horizontal* dengan bidang pandang

setengah bola. Sedangkan *pyrheliometer* digunakan untuk mengukur irradiasi langsung.

Pyranometer terdiri atas dua bagian utama, yaitu pelat hitam dan kubah kaca. Pelat hitam di dalam *pyranometer* ini akan panas jika terpapar irradiasi surya. *Hot junction* dari sebuah *termopile* ditempelkan di pelat hitam tadi, sementara *cold junction*-nya. ditempatkan di bawah sebuah pelat pelindung sehingga tidak terpapar irradiasi langsung.

Perbedaan temperatur antara kedua *junction* itu akan menghasilkan gaya *elektromotif* antara 0 sampai dengan 10 mV. Besarnya irradiasi surya yang jatuh di sebuah permukaan dapat diketahui dengan mengalikan tegangan yang terbaca dengan *sensitivitas pyranometer*. *Sensitivitas pyranometer* didapatkan melalui proses kalibrasi.

Sementara kubah kaca berfungsi untuk membatasi *spektrum* irradiasi surya yang sampai di pelat hitam tadi. Pada umumnya kubah kaca ini hanya melewatkan *spektrum* irradiasi dengan panjang gelombang 300 sampai dengan 2800 nm. Kubah kaca juga berfungsi melindungi bagian dalam *pyranometer* dari hujan, angin, dan *kondensasi* di bagian dalam *pyranometer*.



Gambar 2.3 Bagian-bagian *pyranometer*

2. Pengukuran Temperatur Udara

Pada dasarnya alat untuk mengukur temperatur udara di luar ruangan sama dengan alat ukur temperatur pada umumnya, yaitu termometer. Dalam tugas akhir ini sensor yang digunakan untuk mengukur temperatur udara adalah modul SHT1x yang di dalamnya terdapat *termometer semikonduktor*.

Dalam pengukuran temperatur udara di luar ruangan, *termometer* harus ditempatkan setinggi 1,2 sampai 2 meter di atas tanah dan dimasukkan ke dalam *Stevenson screen*. *Stevenson screen* adalah sebuah pelindung yang dipakai untuk melindungi *instrumen-instrumen* pengukuran cuaca seperti *termometer*, *higrometer*, dan *barometer* dari irradiasi surya, angin, dan hujan.

Bahan yang digunakan untuk membuat *Stevenson screen* umumnya adalah kayu atau keramik yang dibuat menyerupai sangkar burung dan dicat putih. Setiap sisi pelindung *Stevenson* diberi lubang seperti *ventilasi* jendela rumah agar udara dapat bersirkulasi dengan bebas.



Gambar 2.4 Stevenson screen

3. Pengukuran Kelembapan Relatif

Alat untuk mengukur kelembapan relatif adalah *higrometer*. Sama seperti pengukuran temperatur udara di luar ruangan, *higrometer* juga harus ditempatkan di dalam *Stevenson screen*. Dalam tugas akhir ini sensor yang digunakan untuk mengukur kelembapan relatif udara adalah modul SHT1x. Selain *termometer semikonduktor*, di dalam modul SHT1x juga terdapat *higrometer elektronik*, yaitu *higrometer kapasitif*.

D. Pengenalan Mikrokontroler

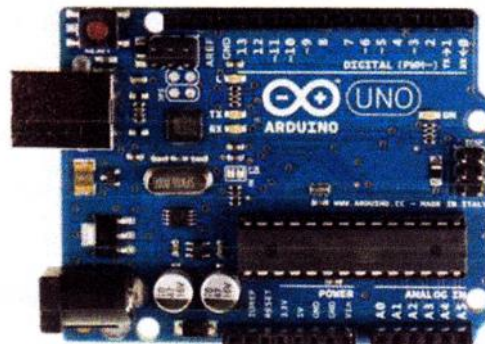
Mikrokontroler adalah rangkaian *terintegrasi* berbentuk *chip* yang dapat *diprogram* menggunakan *komputer* untuk menjalankan fungsi-fungsi tertentu. Fungsi-fungsi tersebut antara lain membaca masukan, memprosesnya, dan menghasilkan keluaran yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini *mikrokontroler* yang digunakan adalah *Arduino Uno Rev 3*.

Arduino Uno adalah papan *mikrokontroler* sumber terbuka yang di dalamnya terdapat *mikrokontroler Atmega328*. Dasar bahasa *pemrograman Arduino* adalah C, Meskipun demikian, bahasa C untuk *Arduino* sedikit berbeda dengan bahasa C pada umumnya karena sudah dipermudah.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5 Voltage
Tegangan masukan yang direkomendasikan	7-12 Volt DC
Batas tegangan masukan	6-20 Volt DC
Jumlah pin masukan/keluaran digital	14 buah (6 di antaranya dapat berupa keluaran PWM)
Jumlah pin masukan analog	6 pin
Arus DC per pin masukan/keluaran	40Ma
Arus DC untuk pin 3,3 V	50Ma
Flash Memory	32 KB (ATmega328) dengan 0,5 KB di antaranya digunakan oleh <i>bootloader</i>
SRAM	2KB(ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16MHz

Sumber : Arduino Uno Referensi Design



Gambar 2.5 Arduino Uno

Struktur pemrograman Arduino terdiri atas dua bagian, yaitu *setup* dan *loop*. *setup* adalah fungsi yang hanya dipanggil satu kali ketika program pertama kali dijalankan. Fungsi ini biasanya digunakan untuk *mendefinisikan* mode pin atau memulai *komunikasi*

serial. Sedangkan *loop* adalah fungsi berisi program yang dijalankan berulang-ulang selama *Arduino* masih terhubung dengan catu daya. Kedua fungsi ini harus selalu ditulis dalam *sketch* (sebutan untuk baris program *Arduino*), meskipun isi dari fungsi tersebut kosong. *Struktur* dasar pemrograman *Arduino* diilustrasikan sebagai berikut.

```
void setup() {  
    // perintah;  
    // perintah;  
}  
  
void loop() {  
    // perintah;  
    // perintah;  
}
```

E. Pengenalan Modul *GPS*

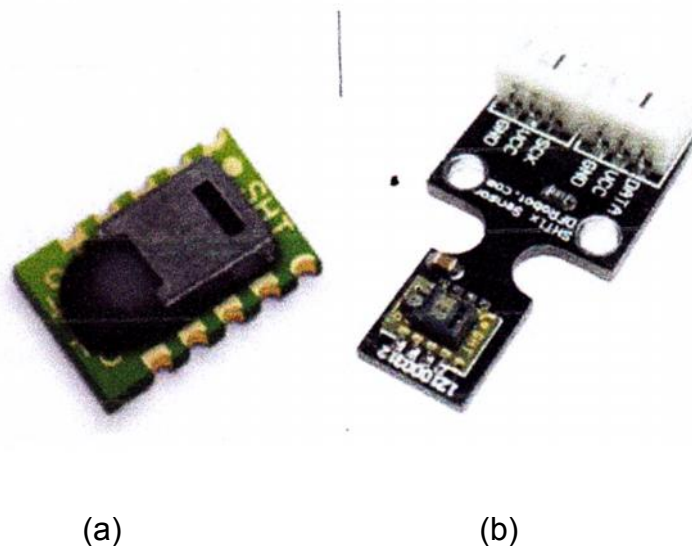
Global Positioning System (*GPS*) atau sistem pemosisi *global* adalah sistem untuk menentukan posisi, kecepatan, arah, dan waktu di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan (*sinkronisasi*) sinyal *satelit*. Sistem *GPS* memiliki tiga komponen, yaitu *satelit*, pengontrol, dan penerima.

Saat dihidupkan perangkat penerima akan langsung menerima informasi waktu *satelit* dan posisi. Akan tetapi dibutuhkan waktu beberapa saat sampai perangkat penerima mendapatkan data waktu dan posisi yang valid, yaitu pada saat perangkat sudah dapat menunjukkan waktu dan koordinat posisi dengan benar.

Lamanya waktu yang dibutuhkan bergantung pada jarak satelit dengan perangkat penerima, kondisi *geografis*, keberadaan penghalang (gedung tinggi atau pohon yang rimbun), serta gelombang *elektromagnetik* yang dipancarkan alat-alat elektronik di sekitar perangkat penerima.

F. Pengenalan SHT1x

SHT1x merupakan modul sensor suhu dan kelembapan relatif yang tergabung dalam satu *chip*. Di bagian dalam SHT1x terdapat *kapasitor polimer* yang berfungsi sebagai sensor RH dan *termometer semikonduktor* sebagai sensor temperatur. Selain itu terdapat pula penguat sinyal internal. Kedua sensor digabungkan dan dihubungkan dengan *Analog to Digital Converter (ADC) 14 bit*.



Gambar 2.6 (a) *Chip* SHT1x dan (b) modul SHT1x yang telah diintegrasikan dengan *Printed Circuit Board (PCB)*

SHT1x telah dikalibrasi di ruang lembap yang presisi. *Koefisien* kalibrasi yang didapatkan kemudian diprogram ke dalam memori OTP di chip SHT1x. Koefisien kalibrasi ini digunakan sebagai *kalibrator internal* pada sinyal masing-masing sensor sehingga keluarannya memberikan nilai temperatur dan kelembapan relatif yang akurat.

Tabel 2.3 Spesifikasi modul SHT1x

Pengukuran temperature	
Akurasi	$\pm 0,5$ °C
Keterulangan	$\pm 0,1$ °C
Rentang pengukuran suhu	-40C sampai dengan +123,8C
Pengukuran kelembapan relative	
Akurasi	$\pm 4,5\%$ RH
Keterulangan	$\pm 0,1$ %RH
Rentang pengukuran	0 sampai dengan 100% RH
Spesifikasi keiistrikan	
Sumber tegangan	2,4 hingga 5,5 V
Konsumsi daya	2-5 μ W (kondisi sleep)

Sumber: Depok Instruments (*Sensirion Humidity and Temperature sensor*)

G. Pengenalan Arduino SD Card Shield

Arduino SD card shield adalah modul tambahan *Arduino* berupa papan rangkaian yang disusun di atas *Arduino shield* yang berfungsi untuk menyimpan data ke *SD card* dan *TF card*. Komunikasi antara *Arduino* dengan *SD card shield* adalah serial *peripheral interface (SPI)*.

SPI adalah protokol serial data *sinkronis* yang digunakan oleh mikrokontroler untuk berkomunikasi dengan satu atau lebih perangkat

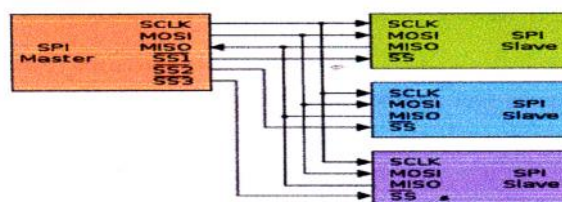
lain pada jarak dekat dalam waktu yang cepat. SPI juga dapat digunakan untuk komunikasi antara dua mikrokontroler.

Pada komunikasi SPI selalu terdapat perangkat master (biasanya *mikrokontroler*) yang mengontrol perangkat lain (*slave*).

Jalur-jalur komunikasi SPI adalah:

- *Master in slave out* (MISO), yaitu jalur untuk mengirimkan data dari *slave* ke master
- *Master out slave in* (MOSI), yaitu jalur untuk mengirimkan data dari master ke *slave*
- *Serial clock* (SCK), yaitu *pulsa clock* yang berfungsi untuk *sinkronisasi transmisi* data antara *master* dan *slave*
- *Slave select* (SS), yaitu jalur yang digunakan master untuk mengenali setiap *slave* secara *spesifik*.

Skema komunikasi SPI dan contoh *Arduino SD card shield* dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Skema komunikasi SPI



Gambar 2.8 Arduino SD Card Shield

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 4 bulan, mulai dari bulan Juni 2017 sampai dengan September 2017.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Kota Makassar :

1. Jalan Prof.DR.Ir.Soetami Kel. Parangloe Kec. Tamalanrea.
2. Perumahan Teuku Mansion di Jalan Teuku Umar Raya Kel. Kaluku Bodoa Kec. Tallo.
3. Taman PT. *Katingan Timber Group* Bontoa Barat Kel. Parangloe Kec. Tamalanrea.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari *referensi-referensi* serta *literatur-literatur* yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

Metode Penelitian

Mengadakan penelitian dan pengambilan data di Makassar, Kemudian mengadakan pembahasan/analisa hasil pengamatan dan menyimpulkan hasil analisa tersebut.

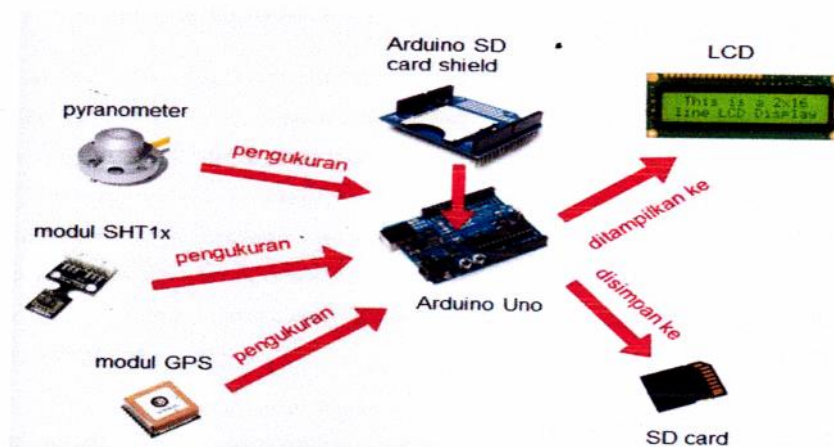
Metode Diskusi/Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi/wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi .

C. Perancangan Alat

1. Konfigurasi Sistem secara Keseluruhan

Perangkat *monitoring* potensi energi surya ini terdiri atas *pyranometer* sebagai sensor irradiasi surya, SHT1x sebagai sensor temperatur dan kelembapan relatif, modul GPS sebagai sensor posisi dan pemberi informasi waktu, LCD sebagai keluaran untuk menampilkan hasil pembacaan sensor, dan *SD card shield* sebagai modul tambahan *Arduino* untuk menyimpan hasil pembacaan sensor ke SD card.



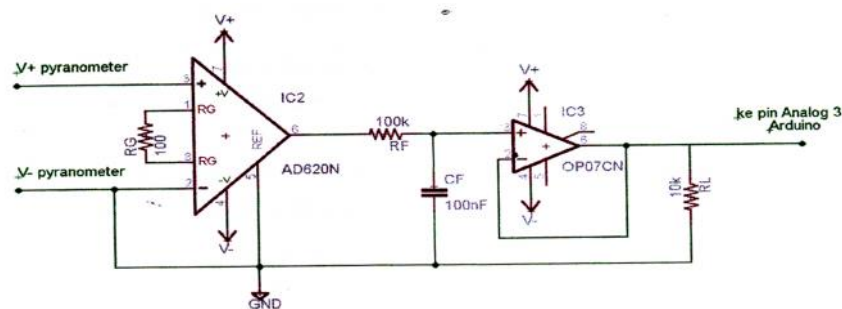
Gambar 3.1 Konfigurasi sistem secara keseluruhan

2. Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer

Pyranometer yang digunakan memiliki sensitivitas sebesar $9,9\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Untuk dapat dibaca oleh masukan analog Arduino pyranometer membutuhkan penguatan sebesar 494 kali. Penguatan ini diberikan dengan rangkaian pengondisi sinyal pyranometer seperti pada gambar 3.0. Rangkaian pengondisi sinyal pyranometer ini terdiri atas penguat instrumentai dan *low pass filter*(LPF). Pada penguat instrumentasi penguatan ini diberikan oleh resistor gain sebesar 100Ω sedangkan frekuensi *cutoff* LPF adalah 16 Hz, yang dihasilkan oleh $R= 100\text{k}\Omega$ dan $C= 100\text{nF}$

$$\text{Gain} = \frac{4,89 \frac{\text{nV}}{\text{V}\cdot\text{m}^{-2}}}{99,4 \frac{\text{V}}{\text{W}\cdot\text{m}^{-2}}} \approx 494 \text{ kali}$$

Penguatan tegangan ini dilakukan dengan melewati sinyal keluaran pyranometer ke rangkaian pengondisi sinyal sebelum diolah oleh Arduino.



Gambar 3.2 Skema rangkaian pengondisi sinyal pyranometer

Rangkaian pengondisi sinyal pyranometer terdiri atas penguat instrumentasi dan *low pass Jittler*. Penguat instrumentasi digunakan karena memiliki 2 masukan yaitu V+ dan V- serta 1

keluaran sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang proporsional terhadap beda tegangan antara kedua masukannya.

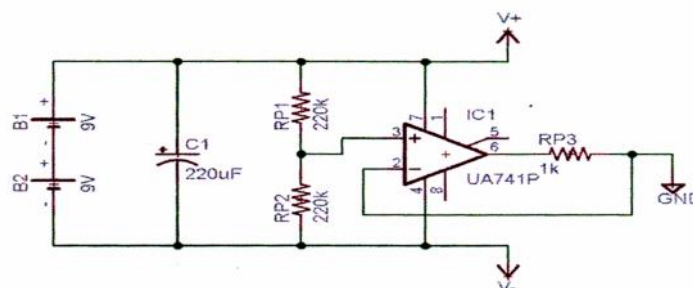
Dengan demikian untuk menghasilkan penguatan sebesar 494 kali dibutuhkan R_G sebesar

$$G \approx \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{G-1} = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{494-1} = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{493} = 100,2 \Omega \approx 100\Omega$$

3. Perancangan Rangkaian Catu Daya Pengondisi Sinyal Pyranometer

Penguat instrumentasi yang digunakan membutuhkan tegangan suplai ganda, $+V_s$ dan $-V_s$, serta tegangan referensi (*ground*). Tegangan suplai ini dihasilkan dengan rangkaian catu daya seperti ditunjukkan pada berikut.



Gambar 3.3 Skema rangkaian catu daya pengondisi sinyal pyranometer

Besarnya $+V_s$ dan $-V_s$ akan mempengaruhi rentang tegangan keluaran penguat instrumentasi menurut hubungan :

$$V_{\min} = -V_s + 1,9$$

$$V_{\max} = +V_s - 1,4$$

sehingga untuk menghasilkan tegangan keluaran maksimum sebesar 5 V dibutuhkan tegangan suplai +Vs minimum sebesar 6,4 V.

Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian catu daya ini dipengaruhi oleh besarnya tegangan sumbernya menurut hubungan

$$\pm V_s = \frac{V_{baterai}}{2}$$

Baterai sehingga untuk menghasilkan tegangan suplai minimum sebesar 6,4 V dibutuhkan baterai dengan tegangan minimum sebesar 12,8 V. Karena baterai yang digunakan sebagai catu daya Arduino hanya memiliki tegangan 11,4 V maka rangkaian catu daya pengondisi sinyal pyranometer menggunakan baterai tersendiri.

4. Perancangan Rangkaian Sensor Temperatur Dan Kelembapan Relatif

SHT1x memiliki antarmuka serial 2 kabel yang terdiri atas serial clock dan jalur data serial dua arah. Serial clock berfungsi untuk sinkronisasi SHT1x dan Arduino, sedangkan jalur data serial dua arah digunakan untuk mentransfer data masuk dan keluar sensor.

Tabel 2.3 Spesifikasi modul SHT1x

Pin SHT1x	Dihubungkan ke pin Arduino
Ground	GND
Vcc	5V
Serial Data	Analog 5
Serial Clock	Analog 4

Sumber: Depok Instruments (*Sensirion Humidity and Temperature sensor*)

Untuk dapat membaca temperatur dan kelembapan relatif dengan SHT1x, terlebih dahulu harus disertakan library SHT1x ke dalam sketch program Arduino. Di dalam library inilah terdapat *koefisien* kalibrasi SHT1x.

5. Perancangan *Stevenson Screen*

Stevenson screen harus didesain sedemikian rupa sehingga dapat meminimalkan pengaruh irradiasi surya terhadap hasil pengukuran perangkat-perangkat di dalamnya. Dalam tugas akhir ini Stevenson screen dibuat dari bahan kayu yang dibentuk menjadi kotak dengan ukuran 30 cm x 30 cm x 80 cm. Bahan kayu dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang rendah, yaitu sekitar 0,21 W/m.K. Konduktivitas termal yang rendah akan memperkecil transfer kalor ke bagian dalam *Stevenson screen*.

Agar udara dapat mengalir dengan bebas ke dalam ruangan tempat sensor temperatur dan kelembapan relatif ditempatkan, dibuat lubang udara menyerupai ventilasi pada jendela rumah. Stevenson screen yang telah dibuat kemudian dicat berwarna putih agar dapat merefleksikan sebagian besar irradiasi surya yang jatuh ke bagian luar *Stevenson screen*. Bagian atas *Stevenson screen* yang dibuat juga berfungsi sebagai kotak tempat baterai, rangkaian mikrokontroler dan *shield*-nya beserta baterai.

6. Perancangan Rangkaian Modul GPS

Modul GPS yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah GTPAOIO. Modul GPS ini memiliki antarmuka berupa 4 pin header seperti yang diperlihatkan dalam Tabel berikut.

Tabel 3.2 Penggunaan pin Arduino untuk modul GPS

No. pin	Pin GPS	Dihubungkan ke pin Arduino
1	Ground	GND
2	Vcc	5V
3	Transmit (TX)	Digital 3
4	Receive (RX) "	Digital 4

Sumber: *Neo GPS Starter Kit, Inovatif Elektronik*

Informasi waktu dan posisi yang diterima perangkat penerima GPS berupa deretan kombinasi angka dan huruf yang dinamai kalimat NMEA (*National Marine Electronics Association*). Isi kalimat NMEA tidak lebih dari 80 karakter tampak. Setiap kalimat NMEA diawali dengan karakter "\$" dan diakhiri dengan karakter escape berupa carriage return atau line feed.

Setelah karakter "\$" akan muncul dua huruf sebagai prefiks yang menunjukkan jenis perangkat yang menggunakan kalimat NMEA ini. Jika jenis perangkat adalah penerima maka huruf yang muncul adalah „GP". Di akhir setiap baris kalimat NMEA terdapat checksum yang terdiri atas tanda „*" yang diikuti oleh dua digit karakter heksadesimal.

Terdapat beberapa jenis kalimat NMEA, akan tetapi jenis yang paling penting untuk memberikan informasi waktu dan posisi adalah RMC, yaitu data minimum tipe C yang direkomendasikan untuk GPS. Struktur kalimat GPRMC adalah sebagai berikut.

\$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,010817,03.1,W* 6A

Tabel 3.3 Struktur kalimat GPRMC

RMC	Menunjukkan jenis kalimat <i>Recommended</i> Minimum tipe C
123519	Menunjukkan waktu pukul 12:35:19 UTC (<i>Coordinated Universal Time</i>)
A	Menunjukkan status aktif (data valid) atau V jika status <i>void</i> (data tidak valid)
4807.038, N	Menunjukkan posisi di 48° 07,038" lintang utara
01131.000, E	Menunjukkan posisi di 11° 31,000" bujur timur
022.4	Menunjukkan <i>goundspeed</i> dalam <i>knot</i>
084.4	Menunjukkan <i>track angle</i>
010817	Menunjukkan tanggal 1 Agustus 2017
033.1, W	Menunjukkan variasi magneuk
62	Menunjukkan data <i>checksum</i> , selalu diawali dengan „“

Sumber : *Personal Tracking, portal garuda.*

7. Perancangan Rangkaian LCD

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan salah satu komponen keluaran untuk menampilkan hasil pemrosesan data oleh Arduino, LCD raemiliki antarmuka paralel, yang berarti Arduino harus mengendalikan beberapa pin sekaligus untuk mengatur tampilan LCD. Fungsi pin-pin LCD dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.4 Penggunaan pin Arduino untuk LCD

No. pin	Nama	Fungsi	Dihubungkan ke pin Arduino
1	Ground	Ground	GND
2	Vcc	Tegangan suplai (5V)	5V
3	Vee	Mengatur kontras, dihubungkan ke resistor variabel (potensiometer)	ke potensiometer
4	RS	Register select, memilih antara * command register atau data register	Digital 9
5	Read/write	Memilih mode read atau –write	GND
6	Enable	Mengirimkan data ke register ketika diberikan pulsa dari high ke low	Digital 8
7	DB0	pin data 8 bit	-
8	DB1		-
9	DB2		-
10	DB3		-
11	DB4		Digital 7
12	DB5		Digital 6
13	DB6		Digital 5
14	DB7		Digital 4
15	Led+	Tegangan suplai lampu latar (5V)	5V
16	Led-	Ground lampu latar	GND

Sumber : Perancangan LCD ke Arduino Uno, *respoctory* UGM

Hasil pembacaan sensor ditampilkan oleh LCD secara bergantian setiap 5 detik. Pengaturan ini dilakukan dengan memberikan indeks pada masing-masing keluaran sensor. Data tanggal dan waktu diberi indeks 0, data posisi diberi indeks 1, data irradiansi diberi indeks 2, sedangkan data temperatur dan kelembapan relatif diberi indeks 3. Dengan pengaturan ini, data yang mula-mula ditampilkan adalah tanggal dan waktu, diikuti posisi, irradiansi, temperatur, dan kelembapan relatif. Setelah itu kembali ditampilkan informasi tanggal dan waktu, dan seterusnya.

8. Arduino SD Card Shield

Data-data hasil pengukuran yang telah diolah oleh Arduino akan disimpan di SD card. Untuk dapat menyimpan data ke SD card diperlukan modul tambahan yaitu Arduino SD card shield. Pin-pin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3.5 Penggunaan pin Arduino untuk SD card shield

Pin SD card shield	Dihubungkan ke pin Arduino
Ground	GND
Vcc	5 Volt atau 3,3 Volt jika disisipkan SD card)
Clock	Digital 13
Data Out	Digital 12
Data In	Digital 11
Chip Select	Digital 10

Sumber : *Write read SD card Arduino, any project Technology*

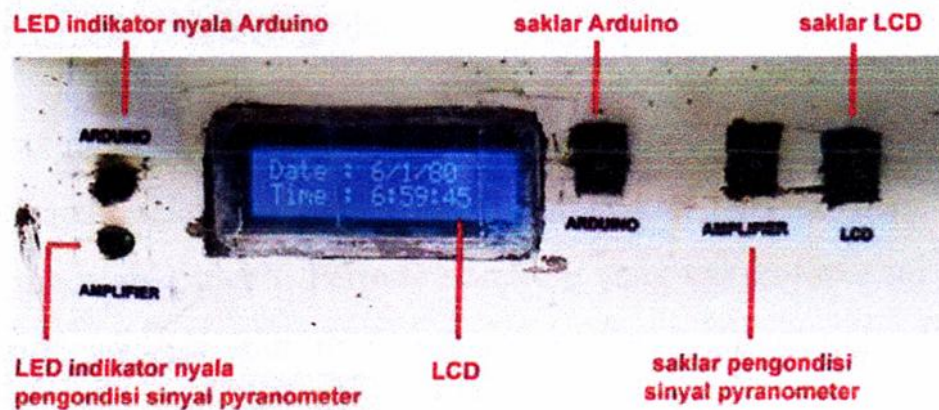
Data-data hasil pengukuran disimpan ke SD card dalam format *comma separated value* (csv). Format ini dipilih karena lebih mudah diolah dengan program pengolah angka. Setiap satu cuplik data yang disimpan memuat tanggal, waktu, nilai irradiasi surya, temperatur, dan kelembapan relatif.

9. Perancangan Antarmuka Perangkat

Antarmuka perangkat monitoring potensi energi surya ini terdiri atas tiga buah saklar, dua buah LED, dan sebuah LCD. Tiga saklar masing-masing berfungsi untuk menyambung dan memutuskan aliran arus listrik ke Arduino, rangkaian catu daya pengondisi sinyal pyranometer, dan LCD. Dua buah LED masing-masing berfungsi sebagai indikator tersambung atau terputusnya aliran arus listrik dari baterai ke Arduino

dan rangkaian catu daya pengondisi sinyal pyranometer. Jika arus listrik tersambung maka LED akan menyala.

LCD berfungsi sebagai penampil data besaran yang dibaca oleh sensor. Saat perangkat dihidupkan LCD mula-mula akan menampilkan teks "*Solar Energy Monitor*", diikuti tampilan waktu dan tanggal, posisi dalam garis lintang dan bujur, nilai irradiansi surya, serta temperatur dan kelembapan relatif. Antarmuka perangkat monitoring potensi energi



Gambar 3.4 Antarmuka perangkat

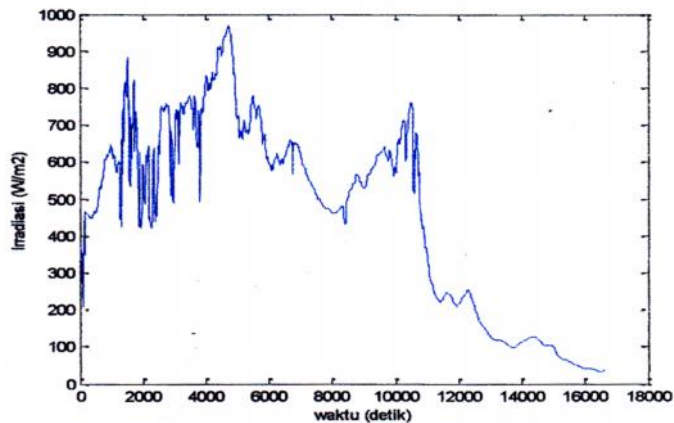
Yang dimaksud dengan perancangan perangkat lunak dalam tugas akhir ini adalah pembuatan program (*sketch*) agar Arduino dapat menjalankan fungsi-fungsi yang diinginkan. *Sketch* ini dibuat menggunakan perangkat lunak Arduino IDE, yaitu perangkat lunak yang dibuat khusus untuk membuat *sketch* yang akan diunggah ke Arduino, melakukan pengaturan konfigurasi serial *port* dan jenis papan Arduino yang digunakan, serta melihat keluaran perintah yang dijalankan oleh Arduino.

Program dimulai dengan mendefinisikan variabel-variabel yang digunakan untuk proses pembacaan, pengolahan, penampilan, dan penyimpanan data. Selain itu disertakan juga *library-library* yang dibutuhkan untuk menjalankan fungsi-fungsi tertentu. Kemudian diatur kecepatan transfer data Arduino dan GPS, inialisasi SD card, serta tampilan awal LCD.

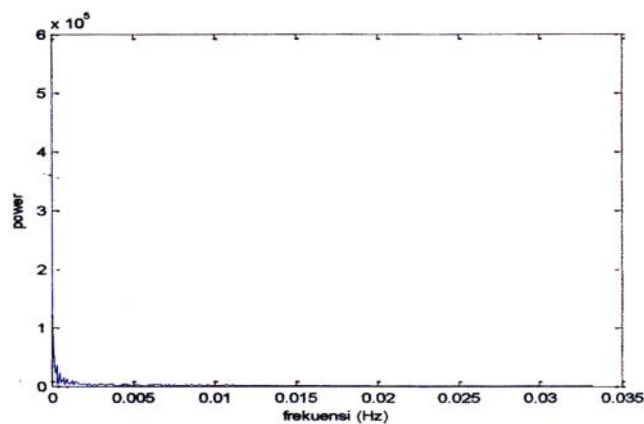
Di fungsi *loop*, mula-mula dijalankan perintah *readline* untuk membaca kalimat NMEA. Arduino kemudian akan mem-buffer kalimat-kalimat GPS ke dalam 80 karakter. Kalimat yang akan diproses lebih lanjut adalah kalimat GPRMC. Fungsi *strncmpO* digunakan untuk menyeleksi hanya kalimat NMEA yang memiliki prefiks "\$GPRMC" yang akan diproses lebih lanjut. Kalimat GPRMC ini kemudian diterjemahkan dengan perintah *uraikan_gps*. Karakter pointer dan fungsi *parsedecimal* digunakan untuk mengekstrak informasi posisi dan waktu dari kalimat GPRMC ke dalam variabel bernama "*latitude*", "*longitude*", "*year*", "*month*", "*date*", "*hour*", "*mmute*", dan "*second*".

Dalam tugas akhir ini periode sampling pengukuran irradiasi surya, temperatur, dan kelembapan relatif adalah 5 detik, sedangkan periode perata-rataan data pengukuran adalah 1 menit. Periode sampling yang cukup rapat ini dipilih untuk meningkatkan akurasi dan tingkat kepercayaan hasil pengukuran. Meskipun demikian, periode sampling sebesar 5 detik atau frekuensi sampling 0,2 Hz sudah lebih besar dari dua kali frekuensi sinyal irradiasi surya pada pengukuran

pendahuluan, yaitu mendekati 0 Hz. Gambar 3.5 menunjukkan hasil pengukuran pendahuluan irradiansi surya dalam domain waktu, sedangkan Gambar 3.6 dalam domain frekuensi. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan irradiansi surya relatif lambat.



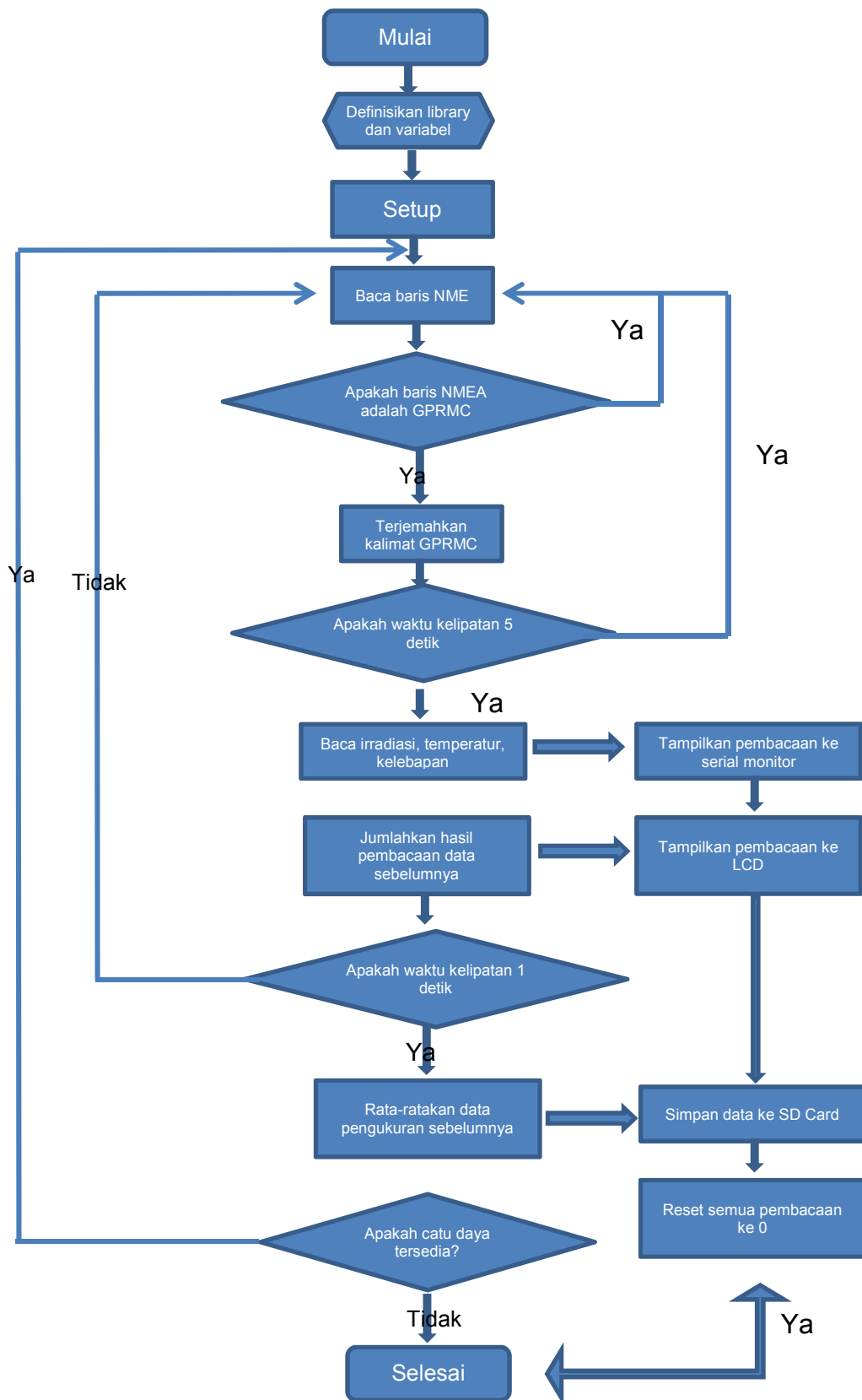
Gambar 3.5 Hasil pengukuran pendahuluan irradiansi surya



Gambar 3.6 Spektrum pengukuran pendahuluan irradiansi surya

Penentuan waktu sampling ditentukan oleh variabel "*second*". Variabel "*second*" juga digunakan untuk menentukan waktu eksekusi perintah-perintah selanjutnya. Jika informasi waktu yang didapatkan merupakan kelipatan 5 detik, maka secara berturut-turut Arduino akan menjalankan perintah-perintah:

- `gmt`, untuk mengkonversi waktu GPS menjadi waktu lokal Greenwich Mean Time +1 (GMT+7) atau Waktu Indonesia Barat (Wffi),
- `print_waktu`, untuk menampilkan waktu GMT+7 ke serial monitor Arduino,
- `baca_irr` , untuk membaca nilai irradiansi,
- `print_irr`, untuk menampilkan pembacaan irradiansi ke serial monitor Arduino,
- `SHT1x.read Temperature CO` dan `SHT1x.read Humidity` , untuk membaca nilai temperatur dan kelembapan relatif,
- `tampilkan_trh`, untuk menampilkan pembacaan temperatur dan kelembapan relatif ke serial monitor Arduino, dan tampilkan led, untuk menampilkan pembacaan sensor ke LCD.Selanjutnya Arduino juga akan menjumlahkan pembacaan masing-masing sensor dengan pembacaan sebelumnya.
- Jika waktu merupakan kelipatan 1 menit, Arduino akan menjalankan perintah tambahan yaitu merata-ratakan pembaca'an masing-masing sensor, menampilkannya di serial monitor Arduino, dan menyimpan rata-rata pembacaan masing-masing sensor selama satu menit. Diagram alir *sketch* Arduino untuk membaca, mengolah, menampilkan, dan menyimpan hasil pembacaan sensor dapat dilihat pada diagram halaman berikut.



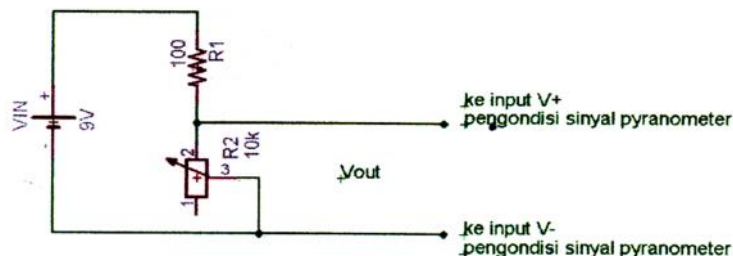
Gambar 3.7 Diagram alir sketch Arduino

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Linieritas Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer

Sebelum digunakan untuk kalibrasi dan pengukuran, rangkaian pengondisi sinyal pyranometer terlebih dahulu diuji linieritasnya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik keluaran terhadap masukan dari rangkaian. Pengujian dengan memberikan masukan langsung dari pyranometer sulit dilakukan karena keluaran yang dihasilkan pyranometer sangat bergantung pada irradiasi surya. Sebagai pengganti digunakan rangkaian pembagi tegangan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Rangkaian pembagi tegangan pengganti pyranometer

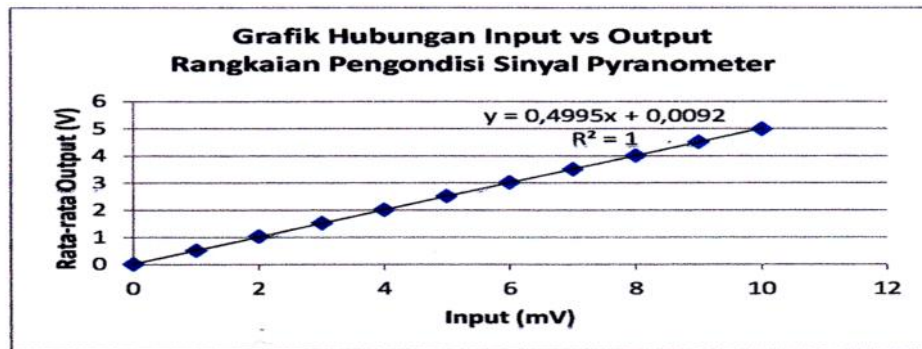
Rangkaian pembagi tegangan di atas akan memberikan masukan berupa tegangan dengan arus searah. Arus searah digunakan karena pada dasarnya keluaran dari pyranometer juga berupa arus searah. Besarnya tegangan yang dijadikan masukan dapat dimodifikasi dengan mengubah-ubah nilai potensiometer sesuai dengan persamaan:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

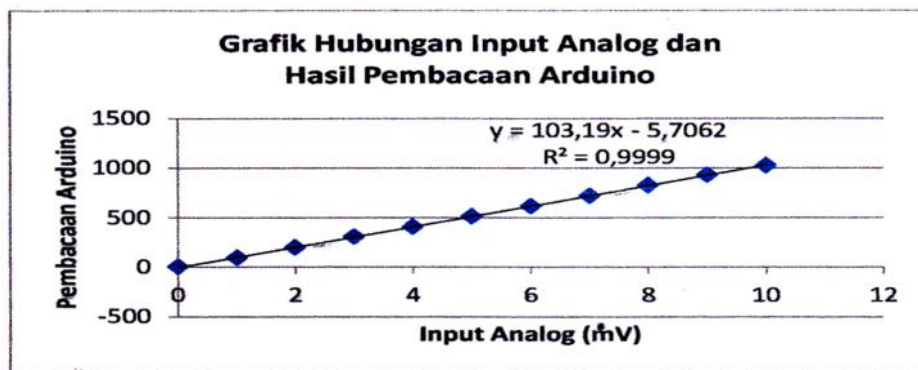
Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan pada rangkaian pengondisi sinyal pyranometer berupa tegangan dari 0 sampai dengan 10 mV dengan kenaikan 1 mV. Kemudian tegangan keluaran diukur dengan multimeter. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali dengan pemberian masukan naik pada pengukuran ke-1 dan ke-3 serta masukan turun pada pengukuran ke-2. Tegangan keluaran juga dihubungkan ke pin masukan analog Arduino untuk diketahui perbandingan antara hasil pembacaan oleh Arduino dengan masukan analog yang dibacanya. Hasil pengujian linieritas rangkaian pengondisi sinyal pyranometer dapat dilihat pada Tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil pengujian linieritas rangkaian pengondisi sinyal pyranometer

Masukan (mV)	Keluaran							
	Pembacaan multimeter (V)				Pembacaan Arduino Pengukuran ke-			
	1	2	3	Rata-rata	1	2	1	Rata-rata
0	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
1	0,50	0,50	0,50	0,50	92,80	93,09	93,24	93,04
2	1,01	1,01	1,01	1,01	197,78	197,87	1 97,70	197,78
3	1,52	1,52	1,52	1,52	303,58	303,52	303,94	303,68
4	2,00	2,02	2,01	2,01	405,61	405,64	405,59	405,61
5	2,50	2,51	2,51	2,51	510,04	510,30	510,06	510,13
6	3,01	3,02	3,02	3,02	615,10	615,27	614,65	615,01
7	3,51	3,51	3,51	3,51	717,57	717,56	716,97	717,37
8	4,01	4,01	4,00	4,01	822,48	823,51	822,32	822,77
9	4,50	4,52	4,51	4,51	925,07	925,65	925,31	925,34
10	4,99	4,98	4,99	4,99	1020,43	1022,7	1022,96	1022,03



Gambar 4.2 Grafik Hubungan input dan output Rangkaian Pengondisi Sinyal Pyranometer



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Input Analog dan Hasil Pembacaan Arduino

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa perbandingan keluaran terhadap masukan rangkaian pengondisi sinyal pyranometer adalah linier. Begitu pula dengan perbandingan antara Hasil pembacaan oleh Arduino dengan masukan analog yang dibacanya.

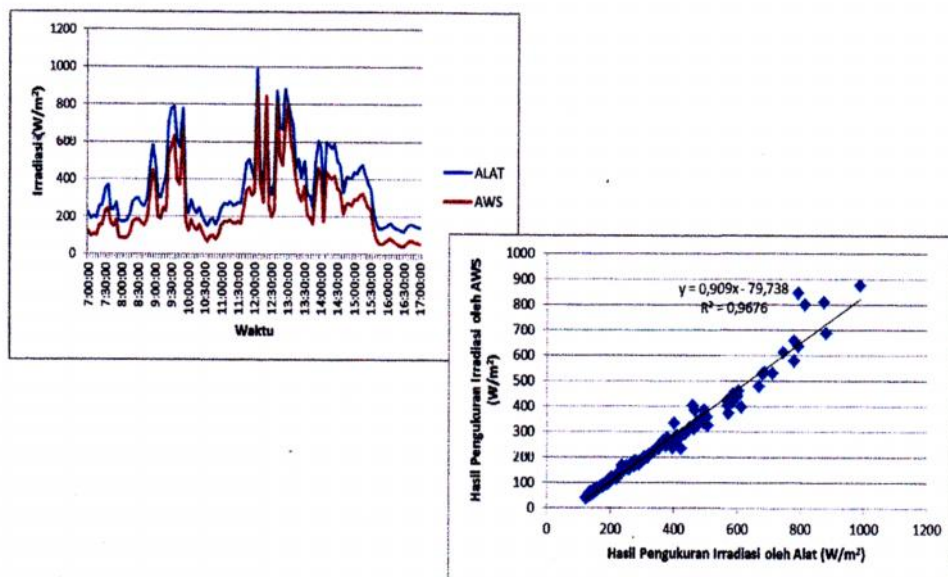
B. Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat bertujuan untuk mengetahui performansi alat ketika digunakan untuk melakukan pengukuran dibandingkan dengan alat standar. Alat standar yang digunakan untuk mengkalibrasi alat yang dibuat adalah Automatic Weather Station (AWS). AWS ini dijadikan alat

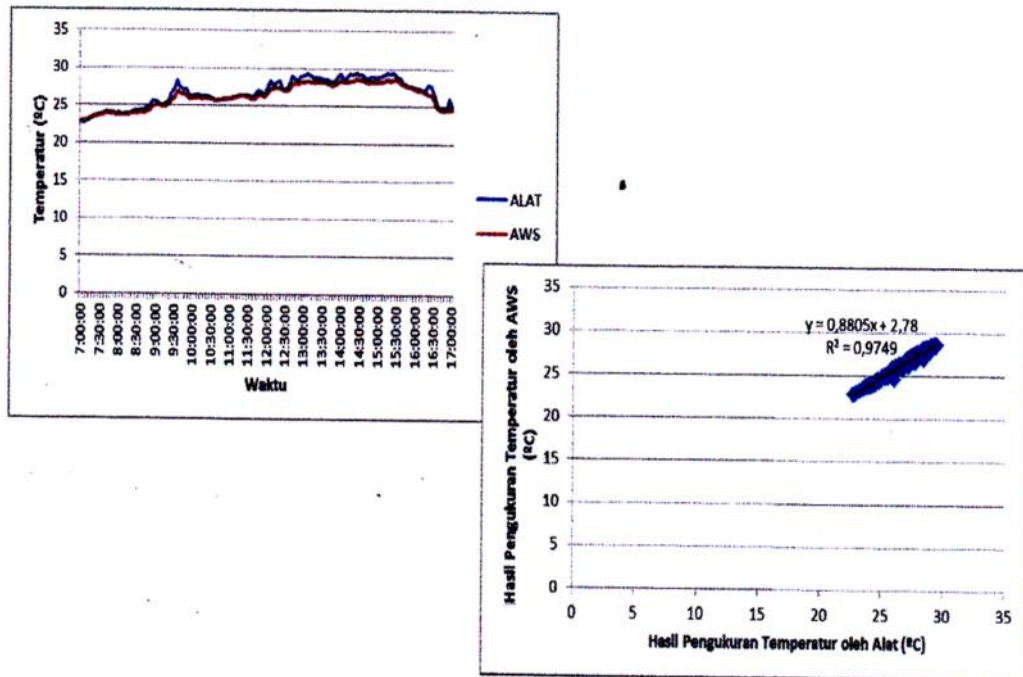
standar karena tidak tersedianya simulator surya dan alat standar lain yang memiliki akurasi dan presisi yang lebih tinggi dari sensor yang digunakan.

Meskipun demikian, AWS yang dijadikan alat standar memiliki akurasi yang baik, yaitu $\pm 5\%$ untuk pengukuran irradiansi surya, $\pm 0,5^\circ\text{C}$ untuk pengukuran temperatur, dan $\pm 3\%$ untuk pengukuran kelembapan relatif, serta telah mencapai standar alat ukur untuk riset.

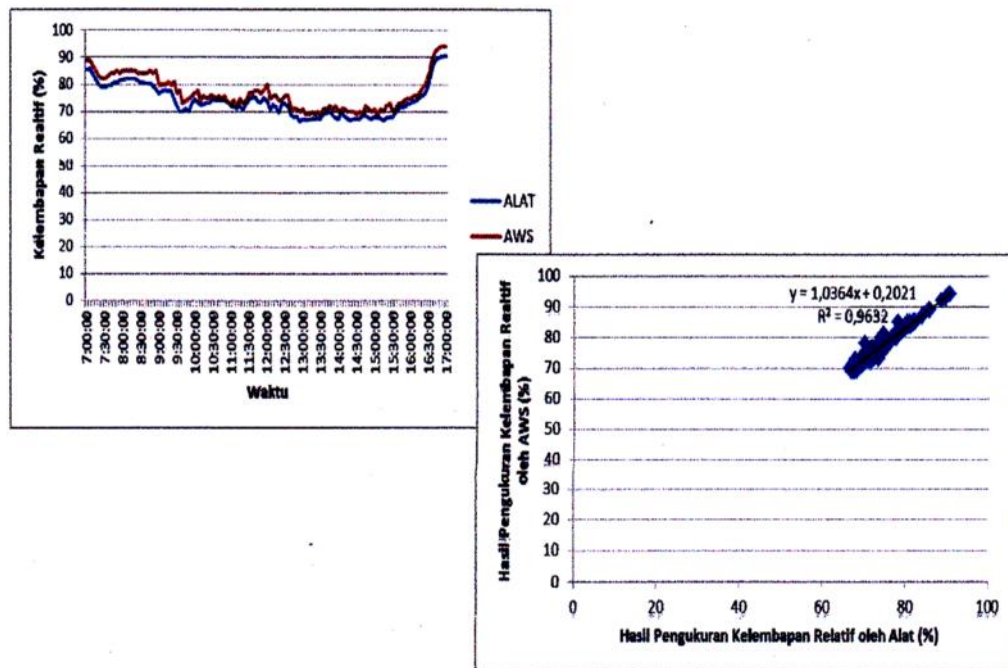
Alat diletakkan setinggi 1,2 meter di atas tanah berdampingan dengan perangkat AWS dan dinyalakan untuk merekam data irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif dari pukul 07.00 sampai dengan 17.00. Hasil pengukuran alat kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran AWS.



Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran irradiansi surya oleh alat dan AWS



Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran temperatur oleh alat dan AWS



Gambar 4.6 Grafik hasil pengukuran kelembapan relatif oleh alat dan AWS

Dari gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 di atas terlihat bahwa terdapat selisih yang cukup besar antara hasil pengukuran alat dan AWS, khususnya pada pengukuran irradiansi surya. Rata-rata kesalahan mutlak, full scale error, dan standar deviasi hasil pengukuran irradiansi, temperatur, dan kelembapan relatif dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4.2 Parameter akurasi dan presisi alat setelah kalibrasi pada tanggal 11 September 2017.

Pengukuran	Rata-rata kesalahan mutlak	Range nilai pengukuran AWS	Full scale error (%)	Standar deviasi kesalahan mutlak
Irradiansi	113,76 W/m ²	833 W/m	13,6	34,82
Temperatur	0,43 °C	5,8 °C	6,3	0,34
Kelembapan Relative	2,91 %	25 %	12,7	1,23

Dari gambar tersebut terlihat bahwa persamaan korelasi hasil pengukuran irradiansi oleh alat dan AWS adalah = 0,909 - 79,738 dengan koefisien korelasi 0,9676. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,9676 menunjukkan bahwa meskipun selisih yang terjadi cukup besar, korelasi antara hasil pengukuran oleh alat dan AWS cukup dekat.

Gradien persamaan korelasi yang didapatkan adalah 0,909. Hal ini menunjukkan penguatan yang diberikan oleh rangkaian pengondisi sinyal pyranometer lebih besar dari yang dibutuhkan. Untuk mengoreksi kesalahan, dilakukan penyesuaian penguatan pyranometer menjadi:

$$G_2 = 0,909 \times G_{\pm} = 0,909 \times 494 = 449 \text{ kali}$$

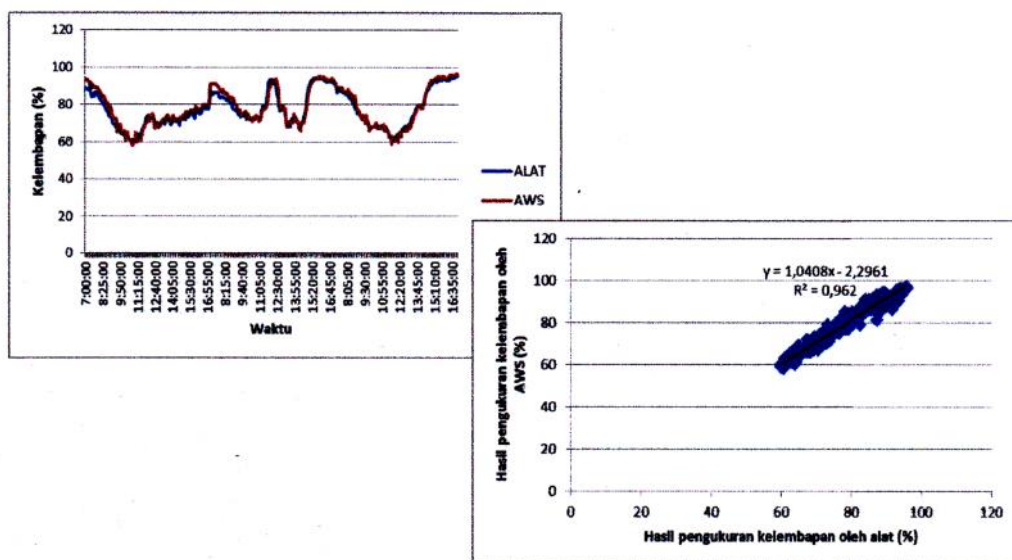
Sehingga nilai resistor gain harus diubah menjadi:

$$R_G = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{G-1} = \frac{49,4 \text{ K}\Omega}{449-1} = 110,27 \Omega$$

Selain itu dari persamaan korelasi dapat disimpulkan juga bahwa terdapat pula offset sebesar $79,738 \text{ W/m}^2$. Offset ini dikurangi dengan menambahkan faktor koreksi sebesar $-79,738 \text{ W/m}^2$ dari hasil pengukuran irradiasi alat di sketch Arduino.

Sementara kesalahan pengukuran temperatur dan kelembapan relatif dikoreksi dengan mengalikan hasil pengukuran temperatur dan kelembapan relatif dengan persamaan korelasi untuk masing-masing pengukuran. Setelah besarnya penguatan sinyal pyranometer dan sketch Arduino untuk akuisisi data diperbaiki, kembali dilakukan uji linieritas penguatan sinyal pyranometer dan kalibrasi pada tanggal 11 – 27 Juli 2017.

Data hasil pengujian linieritas rangkaian pengondisi sinyal pyranometer dan kalibrasi alat pada tanggal 11 – 27 Juli 2017. Perbandingan hasil pengukuran oleh alat dan AWS pada tanggal 11 – 27 Juli 2017.



Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran kelembapan relatif oleh alat dan AWS

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa selisih yang cukup besar antara hasil pengukuran irradiansi surya alat dan AWS pada kalibrasi sebelumnya telah jauh berkurang. Begitu pula dengan kesalahan hasil pengukuran temperatur dan kelembapan relatif yang lebih kecil dibandingkan kalibrasi sebelumnya. Rata-rata kesalahan mutlak, full scale error, dan standar deviasi hasil pengukuran irradiansi, temperatur, dan kelembapan relatif dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter akurasi dan presisi alat setelah kalibrasi pada tanggal 01-14 Agustus 2017

Pengukuran	Kesalahan mutlak rata-rata	Range nilai pengukuran AWS	Full scale error (%)	Standar deviasi kesalahan mutlak
Irradiansi	11,66 W/m ²	879 W/m ²	1,33	19,82
Temperatur	0,42 °C	8,1 °C	5,12	0,33
Kelembapan Relative	1,74 %	39 %	4,45	1,42

Diagram sebaran data pada gambar menunjukkan bahwa korelasi antara hasil pengukuran irradiansi, temperatur, dan kelembapan relatif adalah linier. Gradien persamaan korelasi pengukuran irradiansi meningkat menjadi 0,9982 dengan offset 0,0551, begitu pula dengan gradien pengukuran temperatur dan kelembapan relatif yang hampir mendekati 1 dan offset yang rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran alat sudah mendekati hasil pengukuran AWS. Meskipun demikian, dengan nilai standar deviasi kesalahan mutlak yang belum cukup

jauh lebih kecil dari kesalahan mutlaknya, dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran alat belum cukup presisi.

Ketidakpresisian ini kemungkinan disebabkan pyranometer dan sensor temperatur dan kelembapan alat dan AWS tidak sama, akibatnya karakteristiknya pun berbeda. Karakteristik sensor yang dimaksud meliputi sensitivitas, kelimeran, dan respon waktu. Khusus untuk pyranometer, sensitivitas dan kelinierannya seringkali juga dipengaruhi oleh panjang gelombang irradiasi surya yang jatuh, temperatur udara lingkungan, dan sudut elevasi matahari .

C. Pengukuran Insolasi di Kota Makassar

Pengukuran insolasi di Kota Makassar Pengukuran di masing-masing tempat dilakukan selama 7 hari dari pukul 06.00-18.00. Berikut ini mengenai lokasi pengukuran insolasi di Kota Makassar.

1. Pengukuran Insolasi Jalan Prof.DR.Ir.Soetami Kel. Parangloe Kec.

Tamalanrea

Pengukuran di dilaksanakan pada tanggal 16 – 23 Agustus 2017, Lokasi pengukuran terletak tepat di sisi jalan raya. Alat pengukur potensi energi surya diletakkan di atap bangunan ruko berbahan asbes. Di sini alat pengukur potensi energi surya dapat menerima sinar matahari dari pagi sampai sore tanpa terhalang gedung atau pohon. Agar pembacaan temperatur dan kelembapan relatif lebih akurat, alat pengukur potensi energi surya diletakkan di atas dudukan setinggi 60 cm. Hasil

pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif pada tanggal 16 – 23 Agustus 2017

Pengukuran	Irradiansi (W/m²)	Temperatur (°C)	Kelembapan relatif(%)
Maksimum	952	35,2	94
Minimum	0	21,0	48
Rata-rata	315,93	28,26	69,41

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa irradiansi surya rata-rata adalah 315,93 W/m². Hal ini cukup wajar mengingat selama pengukuran dilakukan cuaca rata-rata cerah dengan sedikit berawan. Dengan waktu pengukuran setiap harinya adalah 12 jam maka besarnya insolasi rata-rata adalah

$$\begin{aligned}
 H &= E t \\
 &= 315,93 \text{ W/m}^2 \times 12 \text{ jam/hari} \\
 &= 3791,13 \text{ Wh/m}^2.\text{hari} = 3,79 \text{ kWh/m}^2 .\text{hari}
 \end{aligned}$$

Hasil pengukuran temperatur menunjukkan bahwa nilai temperatur rata-rata dan maksimum yang terukur adalah 28,26°C dan 35,2°C. Temperatur rata-rata dan maksimum yang cukup besar ini terjadi karena pada siang hari yang cerah, temperatur permukaan asbes akan meningkat dan mengkonveksi kalor yang diterimanya ke udara.

2. Pengukuran Insolasi di Perumahan Teuku Mansion di Jalan Teuku Umar Raya Kel. Kaluku Bodoa Kec. Tallo.

Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 03 - 10 September 2017. Lokasi pengukuran terletak di kawasan perumahan. Alat pengukur potensi energi surya diletakkan di atap bangunan nimah berbahan genting tanah liat. Di sini alat pengukur potensi energi surya dapat menerima sinar matahari dari pagi sampai sore tanpa terhalang gedung atau pohon. Agar pembacaan temperatur dan kelembapan relatif lebih akurat, alat pengukur potensi energi surya diletakkan di atas dudukan setinggi 60 cm.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif pada tanggal 03 - 10 September 2017.

Pengukuran	Irradiansi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan relatif (%)
Maksimum	945	33,4	96
Minimum	0	19,9	51
Rata-rata	307,94	26,86	71,45

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa irradiansi surya rata-rata adalah 307,94 W/m². Hal ini cukup wajar mengingat pada waktu pengukuran dilakukan kondisi rata-rata cuaca cerah dengan sedikit berawan. Dengan waktu pengukuran setiap harinya adalah 12 jam maka besarnya insolasi rata-rata adalah

$$H = E \cdot t$$

$$= 307,94 \text{ W/m}^2 \times 12 \text{ jam/hari}$$

$$= 3695,29 \text{ Wh/m}^2, \text{hari} = 3,70 \text{ kWh/m}^2, \text{hari}$$

Hasil pengukuran temperatur menunjukkan bahwa nilai temperatur rata-rata dan maksimum yang terukur adalah 26,86°C dan 33,4°C. Temperatur maksimum yang diterimanya ke udara.

3. Pengukuran Insolasi di Taman PT. *Katingan Timber Group* Bontoa Barat Kel. Parangloe Kec. Tamalanrea

Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 15 - 22 September 2017.

Alat pengukur potensi energi surya diletakkan di atas dudukan kayu setinggi 1 m yang bagian bawahnya adalah rumput. Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relative dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif pada tanggal 15 – 22 September 2017

Pengukuran	Irradiansi (W/m ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan relative(%)
Maksimum	958	29,2	99
Minimum	0	20,7	65
Rata-rata	229,97	24,43	83,36

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa irradiansi surya rata-rata adalah 229,97 W/m². Dengan waktu pengukuran setiap harinya adalah 12 jam maka besarnya insolasi rata-rata adalah

$$\begin{aligned}
 H &= E \cdot t \\
 &= 229,97 \text{ W/m}^2 \times 12 \text{ jam/hari} \\
 &= 2299,70 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{hari} = 2,30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{hari}
 \end{aligned}$$

Insolasi rata-rata yang hanya sekitar 2,30 kWh/m².hari ini disebabkan pada waktu pengukuran kondisi cuaca sering berawan dan hujan. Hal ini

dapat dilihat dari kelembapan relatif rata-rata yang cukup tinggi, yaitu 83,36% dan temperatur rata-rata yang hanya sekitar 24,43°C.

4. Analisis Hasil Pengukuran Insolasi

Dari hasil pengukuran irradiansi surya, dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya nilai insolasi di Kota Makassar cukup besar. Hal ini terlihat dari insolasi rata-rata selama tujuh hari, dihari pertama sebesar 3,79 kWh/m²/hari, di hari kedua sebesar 3,70 kWh/m²/hari, dan di hari ketiga sebesar 2,30 kWh/m²/hari. Nilai ini tidak jauh berbeda dibandingkan dengan hasil pengukuran potensi energi surya yang dilakukan kota Makassar, yaitu 4,149 kWh/m²/hari .

Selisih yang terjadi disebabkan lamanya waktu pengukuran yang hanya tujuh hari. Selain itu, pada bulan September dan Agustus, sebagian besar wilayah Indonesia, termasuk Kota Makassar mengalami musim hujan. Untuk mendapatkan data yang dapat menggambarkan potensi energi surya suatu daerah dengan lebih akurat pengukuran hendaknya dilakukan dalam rentang waktu yang lebih panjang, yaitu sekurang-kurangnya satu tahun.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari tugas akhir yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah dibuat perangkat monitoring potensi energi surya yang dapat mengukur irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan relatif berbasis mikrokontroler.
2. Dari hasil kalibrasi alat dengan Automatic Weather Station (AWS) di Taman Alat Meteorologi Makassar didapatkan fall scale error rata-rata untuk pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan adalah 1,33%; 5,12%; dan 4,45%. Sementara standar deviasi kesalahan mutlak untuk pengukuran irradiansi surya, temperatur, dan kelembapan adalah 19,82; 0,33; dan 1,42.
3. Telah dilakukan pengukuran insolasi di Kota Makassar dan tanggal 27 Agustus 2017 sampai dengan 22 September 2017. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai insolasi rata-rata pada pengukuran pertama sebesar 3,79 kWh/m².hari Pengukuran ka dua sebesar 3,70 kWh/m².hari dan pengukuran ketiga sebesar 2,30 kWh/m².hari.

B. Saran

Saran yang diberikan untuk tugas akhir selanjutnya adalah:

- Menambahkan modul komunikasi nirkabel dan sistem pemantauan berbasis web sehingga hasil pengukuran dapat diakses dari mana saja.
- Melakukan pengukuran potensi energi surya di sebuah lokasi yang terdapat panel surya dan mengukur energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tersebut.
- Menggunakan catu daya dari panel surya sehingga pengukuran dapat dilakukan dalam waktu yang lebih lama secara kontinu.

DAFTAR PUSTAKA

- Rahardjo, Irawan, dkk., Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia:, BPPT, Jakarta, tanpatahun. Pp. 1-8.
- "Top 10 World's Most Efficient Solar PV Mono-Crystalline Cells", <http://www.solarplaza.com/top10-monocrystalline-cell-efficiency>. (Diakses pada bulan Juli 2017)
- I Dewa Ayu Sri Santiari, Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan pada Industri Perhotelan di Nusa Lembongan Bali, Tesis, Universitas Udayana, Denpasar, 2017.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 30 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik PT PLN (Persero).
- Sukhatme, S.P., et.al., Solar Energy, Principles of Thermal Collection and Storage 3rd Edition, McGraw Hill, New Delhi, 2008. Pp. 71-73.
- TU Delft OpenCourseWare, "Solar Radiation",. http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/SolarCells/res00026/CH2_Solar_radiation.pdf. (Diakses pada bulan Juni 2017)
- Ahrens, C. Donald, Essentials of Meteorology, an Invitation to the Atmosphere 3rd Edition, pp79-80.
- Walcek, Chris J, Cloud Cover and Its Relationship to Relative Humidity during a Springtime Midlatitude Cyclone, American Meteorological Society, 2004. Pp. 1021-1023. (Diakses pada bulan Mei 2017)
- Spokas, Kurt, et.al., Estimating Hourly Incoming Solar Radiation from Limited Meteorological Data, in Weed Science 54, January-February 2006. Pp 183-184. [10] Liu, B. Y. and R. C. Jordan, The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation. Sol. Energy 4. Pp. 1-
- Campbell, G. S. and J. M. Norman, Introduction to Environmental Biophysics. 2nded. Springer-Verlag, New York, 1998. Pp. 167-183.
- Fraden, Jacob, Handbook of Modern Sensors 3rd Edition, Springer, San Diego, 2003. Pp. 13-23.
- "Measurement of Sunshine Duration and Solar Radiation". http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/ric/material/I_Lecture_Notes/CP7-Sunshine.pdf (Diakses pada bulan Februari 2017)

"Measurement of Temperature", http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/ric/material/l_Lecture_Notes/CP2-Temperature.pdf (Diakses pada bulan Februari 2017)

"Stevenson Screen". <http://www.bom.gov.au/climate/cdo/images/about/stevenson.jpg>(Diakses pada bulan Februari 2013)

"Arduino Uno". <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> (Diakses pada bulan Mei 2017)

Winardi, "Penentuan Posisi dengan GPS untuk Survei Terumbu Karang", Puslit Oseonografi, LIPI, http://www.coremap.or.id/downloads/Penentuan_Posisi_Dengan_GPS_Untuk_Survei_Terumbu_Karang_1_151643082.pdf. (Diakses pada bulan Desember 2017)

"Datasheet SHT1x", http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf (Diakses pada bulan Mei 2017)

"SPI Library", <http://arduino.cc/en/Reference/SPI> (Diakses pada bulan Februari 2017)

"SPI Communication Schematic". -http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/tliumb/f/fc/SPI_three_slaves.svg/350px-SPI_three_slaves.svg.png. (Diakses pada bulan Februari 2017)

"Stackable Arduino SC Card Shield v1". <http://www.robotshop.com/Images/big/en/stackable-sd-card-shield-arduino.jpg>. (Diakses pada bulan Februari 2017)

