

SKRIPSI

**PANEL SURYA DENGAN PENGGERAK MENGIKUTI ARAH
MATAHARI**



AHMAD AZHAR
105 82 1062 12

ISHAK
105 82 1115 12

PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019



**PANEL SURYA DENGAN PENGGERAK MENGIKUTI ARAH
MATAHARI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk menyelesaikan Strasa Satu (S1)
Program Studi Teknik Elektro
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar**

Disusun dan Diajukan Oleh :

AHMAD AZHAR

105 82 1062 12

ISHAK

105 82 1115 12

PADA

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

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 : **PANEL SURYA DENGAN PENGGERAK MENGIKUTI ARAH MATAHARI**

Nama : 1. Ishak
2. Ahmad Azhar

Stambuk : 1. 10582 1115 12
2. 10582 1062 12

Makassar, 23 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

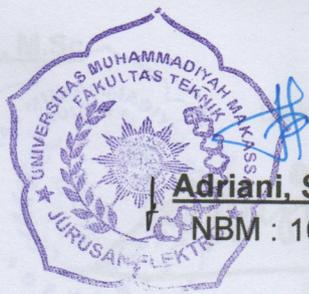
Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Adriani, S.T., M.T

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro



Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

ini atas nama **Ishak** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1115 12 dan **Ahmad Azhar** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1062 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0002/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Kamis tanggal 21 Februari 2019.

Tempat Ujian :

Supervisor Umum

Makassar,

18 Jumadil Akhir 1440 H

23 Februari 2019 M

Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

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

Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

Penyaji

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

Sekretaris : Rahmania, S.T., M.T

Anggota: 1. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

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

3. Dr. Ir. Hj. Hafsa Nirwana, M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Adriani, S.T., M.T

Dekan



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

NBM : 855 500

PANEL SURYA DENGAN PENGGERAK MENGIKUTI ARAH MATAHARI

Ishak⁽¹⁾ dan Ahmad Azhar⁽²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Unismuh Makassar, azhar.rocketmail@gmail.com

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Unismuh Makassar, Misiel00193@gmail.com

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp.(0411)866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

ABSTRAK

Panel Surya dengan Penggerak Mengikuti Arah Matahari. Dibimbing oleh Zahir Zainuddin dan Adriani. Sel Surya adalah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sering juga dipakai istilah photovoltaic atau fotovoltaik. Dalam perancangan ini Panel Surya dengan Penggerak Mengikuti Arah Matahari dibutuhkan peralatan lux meter, bcu, sensor cahaya, aki/baterai dan inverter. tujuan dalam perancangan ini adalah untuk mengetahui kinerja Panel Surya dengan Penggerak Mengikuti Arah Matahari sebagai sumber tegangan dan untuk mengetahui tingkat maksimal energi yang dihasilkan panel surya secara maksimal, agar kelak bisa diaplikasikan pada perancangan selanjutnya dan masyarakat. Hasil pengujian Panel Surya dengan Penggerak Mengikuti Arah Matahari pada tanggal 10 April 2018 papan sel surya berada di posisi tegak lurus 90⁰ menghasilkan Tegangan 11-12 (V), Arus 1,5 (A), Daya 16,5 (W) dan Data pengukuran tegangan dan arus dengan penggerakan panel,intensitas (lux) 105, tegangan 13 (V), Arus 1.5 (A), Daya 19,5 (W)

Kata Kunci : Solar Cell, Intensitas Cahaya, Tenaga Listrik.

ABSTRACT

Solar panels with movers follow the direction of the sun. Guided by Zahir Zainuddin and Adriani. Solar cells are devices that are composed of semiconductor materials that can convert sunlight into electricity directly. Often used the term photovoltaic or photovoltaic. In designing this Solar Panel with Drive Following the Direction of the Sun requires lux meter, BCU equipment, light sensors, batteries / inverters and inverters. The purpose of this design is to determine the performance of the Solar Panel with a Drive Following the Sun as a voltage source and to determine the maximum level of energy produced by solar panels to the maximum, so that later it can be applied to the next design and society. The test results of Solar Panels with Drives Following the Sun on April 10, 2018 solar cell boards in 90⁰ perpendicular position produce Voltage 11-12 (V), Flow 1.5 (A), Power 16.5 (W) and Measurement Data voltage and current with panel drive, intensity (lux) 105, voltage 13 (V), current 1.5 (A), power 19,5 (W)

Keywords: Solar Cell, Light Intensity, Electric Power.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan program studi pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir ini adalah : *“Panel Surya Dengan Penggerak Mengikuti Arah Matahari ”*.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan, sebab itu penulis sebagai manusia biasa tidak lupuk dari kesalahan dan kekurangan baik dari segi teknik penulisan maupun dari segi perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan lapang dada atas segala koreksi serta perbaikan guna menyempurnakan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat buat kita semua.

Skripsi ini dapat terwujud atas berkat bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibunda dan saudara-saudara yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan.

2. Bapak Hamzah Al Imran, ST.,MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Umar Katu, ST.,MT. sebagai Ketua Jurusan dan Ibu Adriani, ST.,MT. sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ir Zahir Zainuddin, M.Sc selaku Pembimbing I dan Ibu Adriani, ST.,MT. selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam bimbingan kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar atas segala waktunya yang telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar terkhusus angkatan 2012 (MISIEL) yang dengan keakraban dan persaudaran banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, 10 April 2018

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sel Surya.....	6
2.2 Semikonduktor dan Sel Surya.....	7
2.3 Proses Konversi <i>Solar Cell</i>	8
2.4 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi.....	15
2.5 Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi yang diterima.....	16

2.6	Mikrokontroler	17
2.7	Arduino Uno.....	19
2.7.1	Pengertian Arduino	19
2.7.2	Bagian-bagian Papan Arduino	22
2.7.3	Software Arduino	24
2.8	Motor DC (<i>Dirrect Current</i>)	25
2.9	<i>Accumulator</i> (aki).....	30
2.9.1	Proses Aki Mengeluarkan Arus.....	31
2.9.2	Proses Aki Menerima Arus.....	31
2.10	<i>Baterai Control Regulator</i> (BCU)	32
2.11	Alat Pengukur.....	34
2.11.1	Alat Ukur Intensitas Cahaya.....	34
2.11.2	Alat Ukur Listrik.....	36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2	Tahap Penelitian.....	37
3.3	Alat dan Bahan	38
3.4	Blok Diagram Rangkaian	39
3.5	Flow Chart Perancangan.....	40
3.6	Flow Chart Program	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

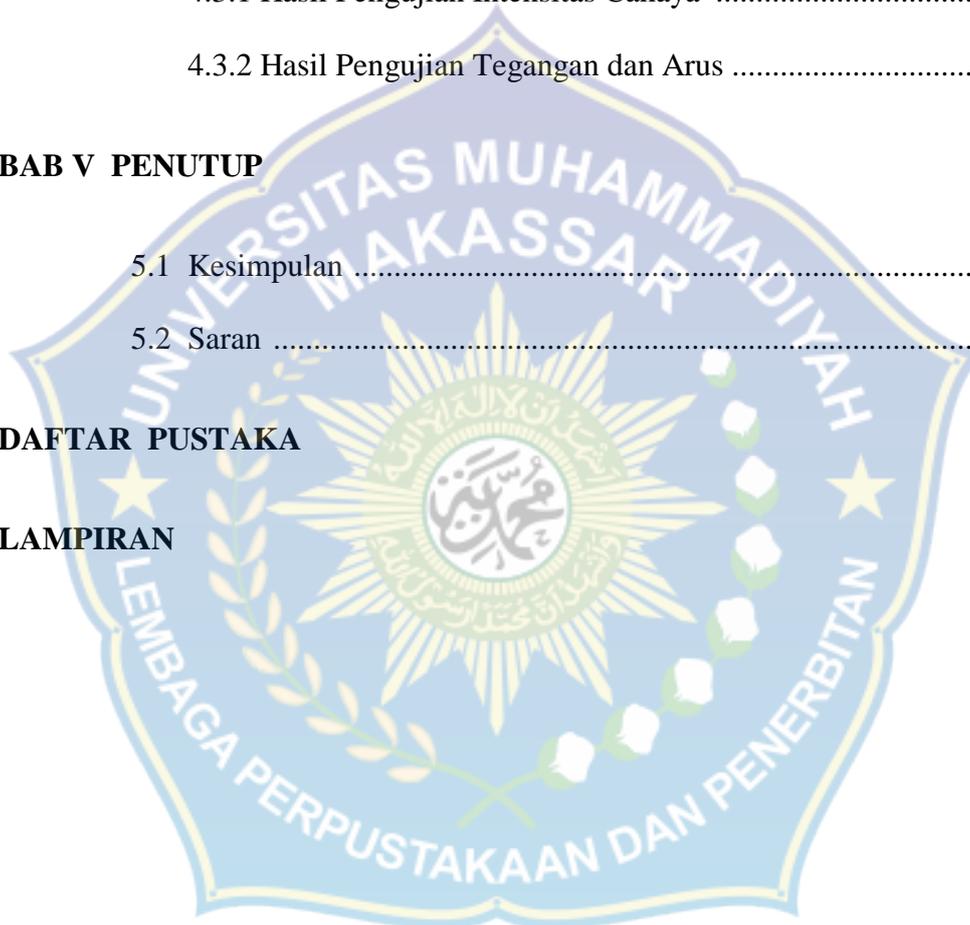
4.1 Perancangan Alat.....	42
4.2 Prinsip Kerja Mekanisme Penggerak Sel Surya.....	43
4.3 Hasil Pengujian dan Analisa	45
4.3.1 Hasil Pengujian Intensitas Cahaya	45
4.3.2 Hasil Pengujian Tegangan dan Arus	47

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Modul Sel Surya.....	7
Gambar 2.2	Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung	9
Gambar 2.3	Perpindahan Elektrol dan Hole pada Semikonduktor	10
Gambar 2.4	Hasil Muatan Positif dan Negatif pada Semikonduktor	10
Gambar 2.5	Timbulnya Medan Listrik Internal E.....	11
Gambar 2.6	Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari	12
Gambar 2.7	Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari	13
Gambar 2.8	Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan KeLampu.....	14
Gambar 2.9	Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi.....	15
Gambar 2.10	Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi	16
Gambar 2.11	Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya	16
Gambar 2.12	Papan arduino tipe USB	22
Gambar 2.13	Motor DC menggunakan Gearbox	26
Gambar 2.14	Pulsa dengan duty cycle 50%	20
Gambar 2.15	Pulsa PWM.....	28
Gambar 2.16	Aki / Accu	30
Gambar 2.17	Baterai Control Unit	32
Gambar 2.18	Alat Ukur Intensitas Cahaya LX1330B	35
Gambar 2.19	Jenis-jenis alat ukur Listrik	36
Gambar 3.1	blok diagram rangkaian penggerak panel surya.....	39
Gambar 3.1	Flow Chart.....	40
Gambar 4.1	Blok diagram sistem kendali otomatis sel surya	41

Gambar 4.2	Matahari berada pada sudut 20°	42
Gambar 4.3	Matahari berada pada sudut 140°	43
Gambar 4.4	Matahari berada pada sudut 90°	44
Gambar 4.5	Grafik perbandingan intensitas cahaya tiap waktu.....	46
Gambar 4.6	Grafik perbandingan tegangan dan arus.....	49



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Alat yang digunakan	38
Tabel 3.2	Bahan yang digunakan	39
Tabel 4.1	Data pengukuran intensitas cahaya posisi sel surya tegak lurus	44
Tabel 4.2	Data pengukuran intensitas cahaya dengan penggerakan panel surya	45
Tabel 4.3	Data pengukuran tegangan dan arus pada panel tegak lurus	46
Tabel 4.4	Data pengukuran tegangan dan arus dengan penggerakan panel surya	47



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan nasional di Indonesia dirancang untuk pemerataan diberbagai bidang dan sektor yang sekaligus menjadi tantangan bagi pemerintah maupun masyarakat untuk mewujutkannya, salah satu dari sektor penyediaan energi.

Energi baru dan terbarukan mulai mulai dapat perhatian sejak terjadinya krisis energi dunia yaitu pada tahun 70-an dan salah satu energi itu adalah energi surya. Energi listrik yang berasal dari energi surya untuk pertama kali digunakan untuk penerangan rumah tangga dengan sistem desentralisasi yang dikenal dengan *solar home sistem* (SHS), kemudian untuk TV umum, komunikasi, dan pompa air.

Sel surya mampu beroperasi dengan baik di hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan sehingga lebih ramah lingkungan. Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel, Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan *photon*. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905.

Photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Ketersediaan energi listrik merupakan suatu keharusan untuk mendukung aktifitas manusia. Indonesia berada

di garis katulistiwa yang membuat kepulauan kita disinari oleh cahaya matahari selama 10 sampai 12 jam perharinya.

Pemanfaatan sumber energi matahari sangat mendukung di kepulauan tropis ini, hanya saja dalam 10 atau 12 jam tidak semuanya dalam keadaan cerah, terkadang cuaca sering kali tidak stabil dalam arti kondisi mendung, berawan, dan hujan.

Energi yang bersifat terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi mengingat sumber tersebut sangat melimpah. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang semakin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Salah satu upaya yang telah dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Saat tengah hari radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt permeter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10% maka modul sel surya mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt. Modul sel surya komersial memiliki efisiensi berkisar 5% hingga 15% tergantung material penyusunannya pada panel surya. Masalah terpenting untuk merealisasikan sel surya sebagai sumber energi adalah efisiensi piranti sel surya dan harga pembuatannya.

Pemasangan panel surya yang kita lihat dilakukan dengan satu arah saja sehingga efisiensi piranti sel surya tidak maksimal. Berdasarkan permasalahan

tersebut, terbesit ide untuk membuat tugas akhir yang berjudul “Panel surya dengan Penggerak Mengikuti Arah Matahari”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja panel surya dalam mengikuti arah matahari ?.
2. Bagaimana penggunaan penggerak panel surya yg cukup efisien dalam penerimaan radiasi matahari ?.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi.

1. Menganalisa energi yang dihasilkan panel surya.
2. Penggerak panel surya menggunakan mikrokontroler.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari perancangan ini yaitu:

1. Untuk menganalisa dan mengetahui kinerja panel surya yang bergerak mengikuti arah matahari.
2. Untuk mengetahui tingkat maksimal energi yang dihasilkan panel surya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari perancangan ini adalah:

1. Meningkatkan kualitas dalam penerimaan radiasi matahari pada panel surya.
2. Meningkatkan energi listrik yang dihasilkan pada solar cell.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan yang akan diuraikan dalam buku laporan proyek akhir ini terbagi dalam bab-bab yang akan dibahas sebagai berikut.

BAB I. PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang pokok pembahasan teori atau materi yang mendasari dalam pelaksanaan penelitian ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang tempat pelaksanaan penelitian serta metode yang diterapkan dalam tugas akhir ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang perancangan dan hasil perancangan dari alat tersebut, serta hasil pengujian yang telah penulis lakukan.

BAB V. PENUTUP

Dalam bagian ini akan dibahas penjelasan atau kesimpulan dan

saran akhir dari hasil perakitan dan pengujian alat yang telah dilakukan.



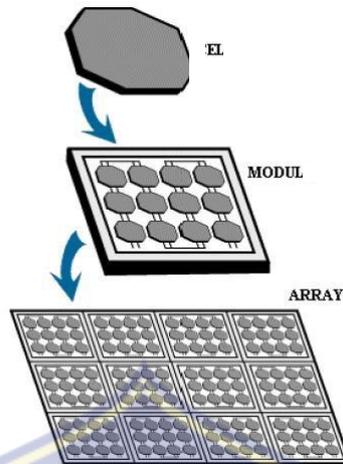
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Konversi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik dilakukan oleh komponen yang disebut sel *photovoltaic* (sel PV). Sel PV pada dasarnya semikonduktor dioda yang memiliki sambungan P-N. Dalam semikonduktor ini terbentuk tiga daerah berbeda, yaitu daerah tipe P, N dan pengosongan (depleksi). Pada daerah tipe P mayoritas pembawa muatannya adalah *hole*, sedangkan pada daerah tipe N mayoritas pembawa muatan adalah elektron. Daerah depleksi memiliki medan listrik internal dengan arah dari N ke P. Saat radiasi matahari mengenai sel surya maka akan terbentuk elektron dan *hole*. Karena pengaruh medan listrik internal pada daerah depleksi maka menyebabkan *hole* bergerak menuju daerah P dan elektron bergerak menuju daerah N. Perpindahan *hole* dan elektron ini menghasilkan arus yang disebut arus fotodifusi. Selain itu pada daerah depleksi dapat pula terjadi pasangan *hole* dan elektron karena pengaruh medan yang sama yang akan bergerak menuju ke arah mayoritasnya, sehingga menghasilkan arus generasi.

Pada aplikasinya, tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu modul sel surya masih cukup kecil, maka dalam pemanfaatannya beberapa modul digabungkan dengan cara hubungan seri maupun paralel yang disebut *array*.

Bentuk *array* ini yang banyak diaplikasikan untuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Modul sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Modul Sel Surya

2.2 Semikonduktor dan Sel Surya

Sebuah semikonduktor adalah sebuah elemen dengan kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. (Albert Paul Malvino, 2003: 35). Sel surya adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip *photovoltaic*, adanya energi dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian elektron pada suatu material ke pita energi yang ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel (Belgia) pada 1894. Efek ini dapat timbul terutama pada semikonduktor listrik yang memiliki konduktivitas menengah dikarenakan sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita-pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi.

Kedua pita energi tersebut berturut-turut dari yang berenergi lebih rendah adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa elektron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda-beda untuk setiap material

semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 eV ($1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$).

Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnetik, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek *photovoltaic* mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dan gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\begin{aligned} h.c &= (6,6256 \times 10^{-34} \text{ Js}) (2,9979 \times 10^8 \text{ m/s}) \\ &= 1,9863 \times 10^{-26} \text{ Jm} \end{aligned}$$

(Marcelo Alonso, 1992: 309)

2.3 Proses Konversi Solar Cell

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif.

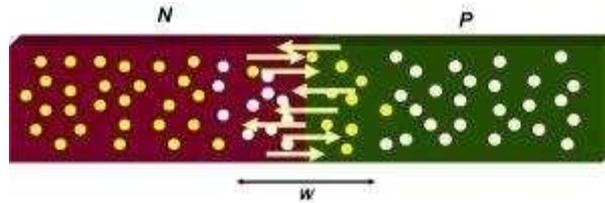
Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



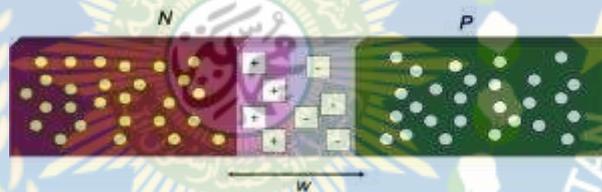
Gambar 2.2 Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung

- b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.



Gambar 2.3 Perpindahan Elektron dan Hole pada Semikonduktor

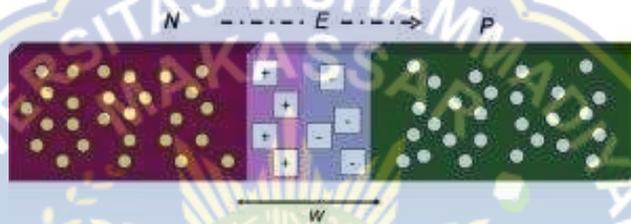
- c. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.



Gambar 2.4 Hasil Muatan Positif dan Negatif pada Semikonduktor

- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- e. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.

- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.

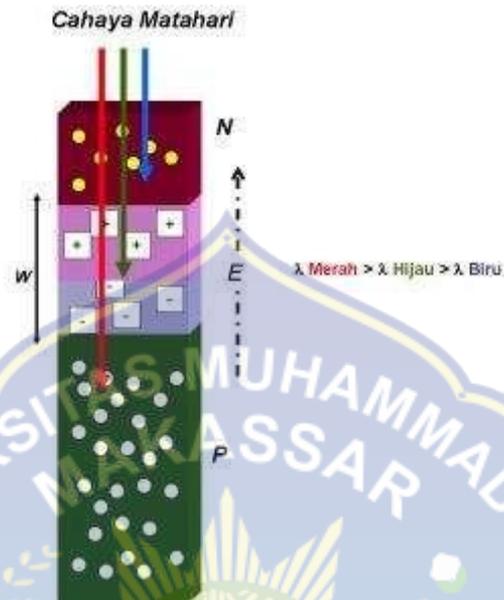


Gambar 2.5 Timbulnya Medan Listrik Internal E

- g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E . Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E .

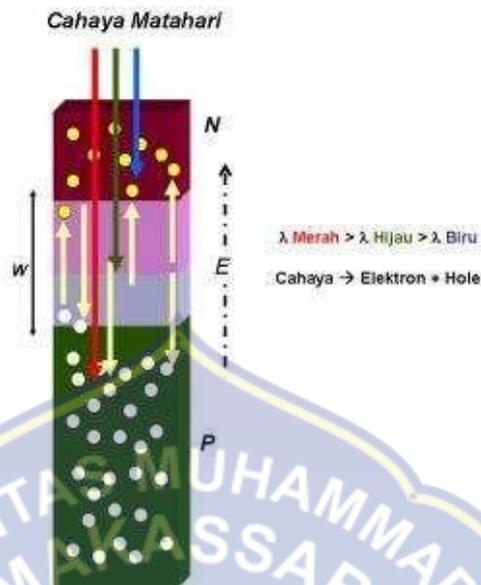
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang

jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



Gambar 2.6 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.



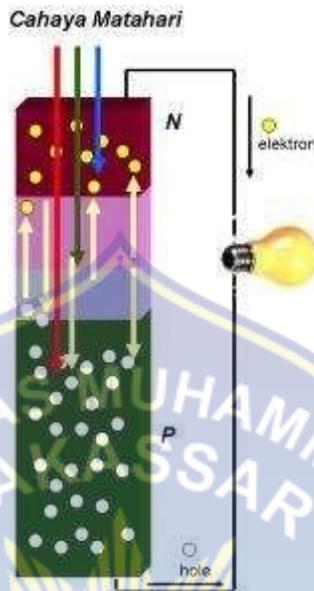
Gambar 2.7 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke

kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



Gambar 2.8 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan Ke Lampu

Pada alat ini *solar cell* digunakan sebagai sumber energi pengganti listrik untuk mengisi ulang baterai sekunder (*charger*) yang digunakan untuk menghidupkan portal parkir otomatis. Dan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari *solar cell* pada saat pengisian baterai langsung digunakan rumus :

$$P_{\text{panel}} = V_{\text{panel}} \times I_{\text{panel}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

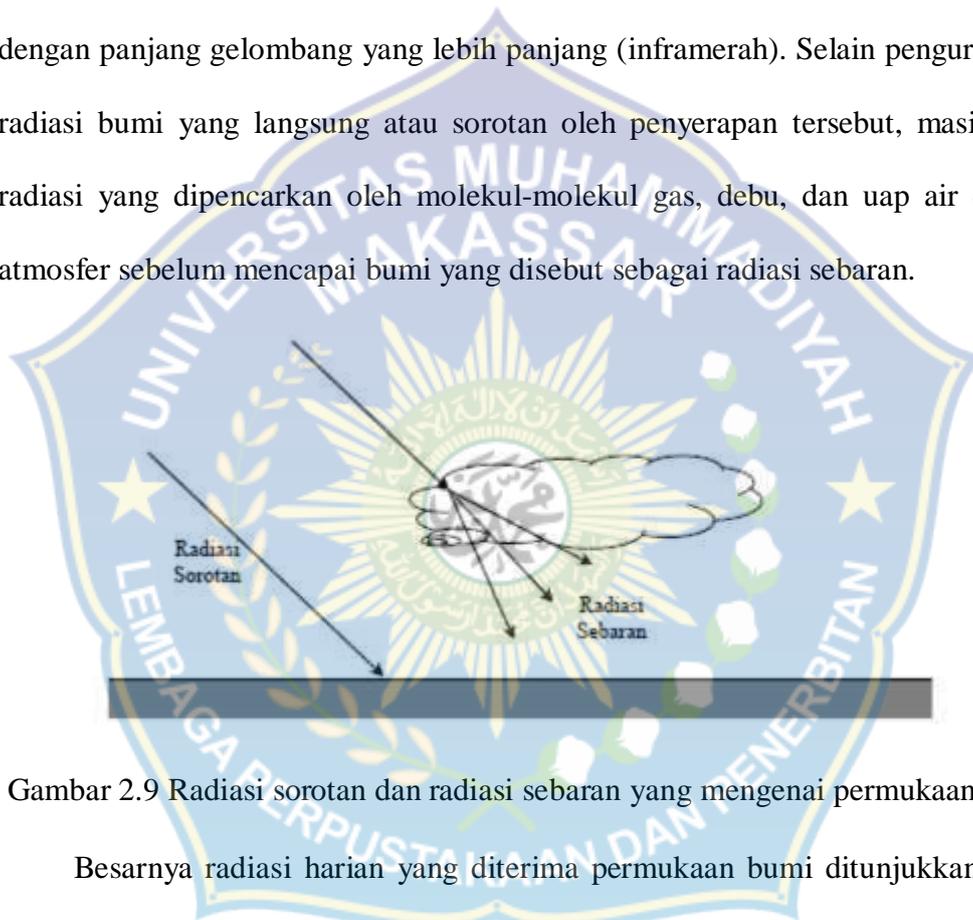
P_{panel} = daya panel (dalam watt ,W)

V_{panel} = ggl panel (dalam volt, V)

I_{panel} = arus panel (dalam Ampere, A)

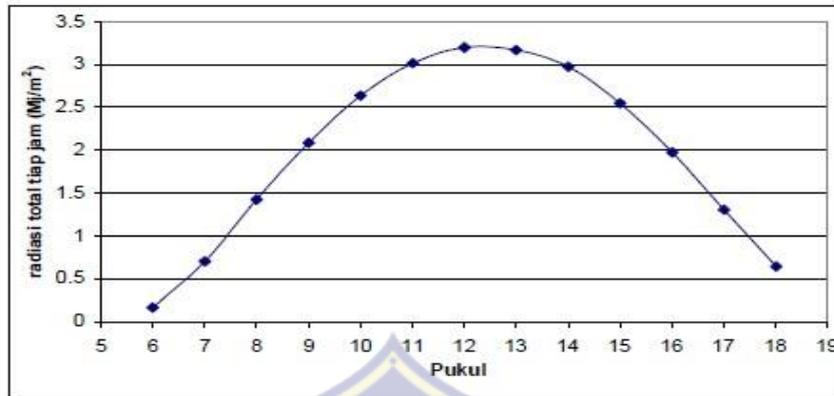
2.4 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.



Gambar 2.9 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi

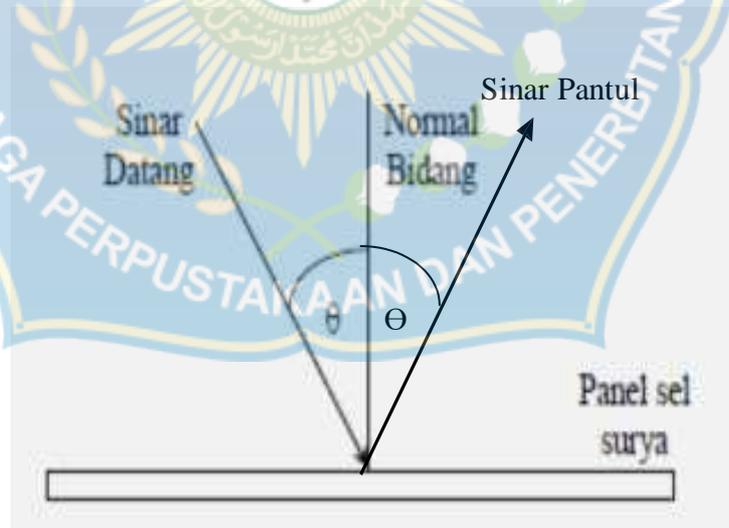
Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 2.10. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.



Gambar 2.10 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi

2.5 Pengaruh Sudut Datang terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



Gambar 2.11 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel

sel surya

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut θ seperti gambar 2.7 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor $\cos \theta$.

$$I_r = I_{r0} \cos \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : I_r = Radiasi yang diserap panel

I_{r0} = Radiasi yang mengenai panel

θ = Sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel

2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Di dalamnya terdapat sebuah inti prosesor, memori, dan perlengkapan *input* dan *output*. Selain itu definisi lain dari mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data.

Mikrokontroler sering disebut juga dengan *one chip microcomputer*. Mikrokontroler telah dilengkapi dengan CPU, Memory, I/O, Counter/Timer dan komunikasi serial. Fungsinya menjadi sangat kompak dan murah harganya. Untuk memfungsikan mikrokontroler diperlukan program-program yang dapat di download ke dalam memori chip. Dengan demikian disamping kompetensi antar

muka secara hardware diperlukan kompetensi pengembangan program atau sering disebut kompetensi pemrograman.

Mikrokontroller digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis, seperti sistem kontrol mesin, remote kontrol, peralatan rumah tangga, alat berat, dan mainan. Dengan mengurangi ukuran, biaya, dan konsumsi tenaga dibandingkan dengan mendesain menggunakan mikroprosesor memori, dan alat *inputoutput* yang terpisah, kehadiran mikrokontroler membuat kontrol elektrik untuk berbagai proses menjadi lebih ekonomis.

Agar sebuah mikrokontroler dapat berfungsi, maka mikrokontroler tersebut memerlukan komponen eksternal yang kemudian disebut dengan system minimum. Untuk membuat sistem minimal paling tidak membutuhkan sistem clock dan reset, walaupun pada beberapa mikrokontroler sudah menyediakan sistem clock internal, sehingga tanpa rangkaian eksternal pun mikrokontroler sudah beroperasi. Untuk merancang sebuah sistem berbasis mikrokontroler, kita memerlukan perangkat keras dan perangkat lunak, yaitu:

- a. Sistem minimal mikrokontroler.
- b. Software pemrograman dan compiler, serta downloader.

Yang dimaksud dengan sistem minimal adalah sebuah rangkaian mikrokontroler yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Sebuah IC mikrokontroler tidak akan berarti bila hanya berdiri sendiri. Pada dasarnya sebuah sistem minimal mikrokontroler AVR memiliki prieset agar mikrokontroler dapat menjalankan program mulai dari awal.

1. Rangkaian clock, yang digunakan untuk memberi detak pada CPU.

2. Rangkaian catu daya, yang digunakan untuk memberi sumber daya.

2.7 Arduino Uno

2.7.1 Pengertian Arduino

Arduino dikatakan sebagai sebuah platform dari *physical computing* yang bersifat open source. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “platform” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload kedalam *memory microcontroller*. Ada banyak projek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan praktisi/professional dengan menggunakan Arduino. Selain itu, juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah platform karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi.

Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang *open source*, baik untuk hardware maupun software-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang. Anda bisa bebas men-*download* gambarnya, membeli komponen-komponennya, membuat PCB-nya dan merangkainya sendiri tanpa harus membayar kepada para pembuat Arduino. Sama halnya dengan IDE Arduino yang bisa *download* dan diinstal pada komputer secara gratis. Kita patut berterima kasih kepada tim Arduino yang sangat dermawan membagi-bagikan kemewahan hasil kerja keras

mereka kepada semua orang. Saya pribadi betul-betul kagum dengan desain hardware, bahasa pemrograman dan IDE Arduino yang berkualitas tinggi dan sangat berkelas.

Kelebihan Arduino:

- a. Tidak perlu perangkat chip programmer karena di dalamnya sudah ada bootloader yang akan menangani upload program dari komputer.
- b. Sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga pengguna Laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
- c. Bahasa pemrograman relatif mudah karena software Arduino dilengkapi dengan kumpulan library yang cukup lengkap.
- d. Memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada board Arduino. Misalnya shield GPS, Ethernet, SD Card, dll.

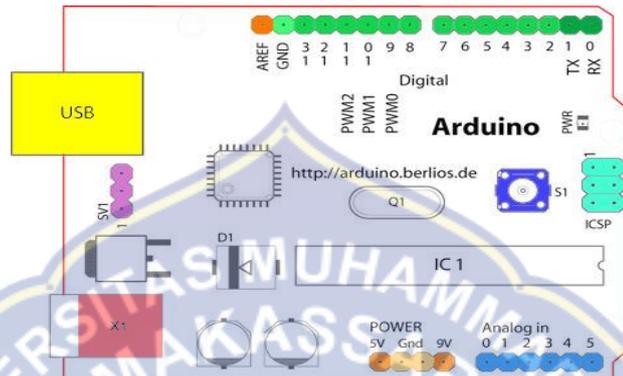
Komponen utama dalam papan Arduino adalah sebuah microcontroller 16 bit dengan merk UNO yang dibuat oleh perusahaan *Atmel Corporation*. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe UNO yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan ATmega8535L sedangkan Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan ATmega2560. Untuk memberikan gambaran mengenai apa saja yang terdapat di dalam sebuah microcontroller. Diagram blok sederhana dari microcontroller ATmega8535L (dipakai pada Arduino Uno).

Blok-blok pada dibawah dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) adalah antar muka yang digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
- b. 2KB RAM pada memory kerja bersifat volatile (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variable-variabel di dalam program.
- c. 32KB RAM flash memory bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain program, flash memory juga menyimpan *bootloader*. *Bootloader* adalah program inisiasi yang ukurannya kecil, dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah *bootloader* selesai dijalankan, berikutnya program di dalam RAM akan dieksekusi.
- d. 1KB EEPROM bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Tidak digunakan pada papan Arduino.
- e. Central Processing Unit (CPU), bagian dari microcontroller untuk menjalankan setiap instruksi dari program.
- f. Port input/output, pin-pin untuk menerima data (input) digital atau analog, dan mengeluarkan data (output) digital atau analog.

2.7.2 Bagian-bagian Papan Arduino

Dengan mengambil contoh sebuah papan Arduino tipe USB, bagian-bagiannya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.12 Papan Arduino tipe USB

a. 14 pin *input/output* digital (0-13)

Berfungsi sebagai *input* atau *output*, dapat diatur oleh program. Khusus untuk 6 buah pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11 dapat juga berfungsi sebagai pin analog *output* dimana tegangan *output*-nya dapat diatur. Nilai sebuah pin *output* analog dapat diprogram antara 0-255, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0-5V.

b. USB

Berfungsi untuk:

- Memuat program dari komputer ke dalam papan
- Komunikasi serial antara papan dan computer
- Memberi daya listrik kepada papan

c. Sambungan SV1

Sambungan atau jumper untuk memilih sumber daya papan, apakah dari sumber eksternal atau menggunakan USB. Sambungan ini tidak diperlukan lagi pada papan Arduino versi terakhir karena pemilihan sumber daya eksternal atau USB dilakukan secara otomatis.

d. Q1 – Kristal (*quartz crystal oscillator*)

Jika *microcontroller* dianggap sebagai sebuah otak, maka kristal adalah jantung-nya karena komponen ini menghasilkan detak-detak yang dikirim kepada *microcontroller* agar melakukan sebuah operasi untuk setiap detaknya. Kristal ini dipilih yang berdetak 16 juta kali/detik (16 MHz).

e. Tombol *Reset S1*

Untuk me-*reset* papan sehingga program akan mulai lagi dari awal. Perhatikan bahwa tombol *reset* ini bukan untuk menghapus program atau mengosongkan *microcontroller*.

f. *In-Circuit Serial Programming (ICSP)*

Port ICSP memungkinkan pengguna untuk memprogram *microcontroller* secara langsung, tanpa melalui *bootloader*. Umumnya pengguna Arduino tidak melakukan ini sehingga ICSP tidak terlalu dipakai walaupun disediakan.

g. *IC 1 – Microcontroller Atmega*

Komponen utama dari papan Arduino, di dalamnya terdapat CPU, ROM dan RAM.

h. X1 – *sumber* daya eksternal

Jika hendak disuplai dengan sumber daya eksternal, papan Arduino dapat diberikan tegangan DC antara 9-12V.

i. 6 pin *input* analog (0-5)

Pin ini sangat berguna untuk membaca tegangan yang dihasilkan oleh sensor analog, seperti sensor suhu. Program dapat membaca nilai sebuah pin *input* antara 0-1023, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0-5V.

2.7.3 Software Arduino

Software Arduino yang digunakan adalah driver dan IDE, walaupun masih ada beberapa *software* lain yang sangat berguna selama pengembangan Arduino. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari:

- a. *Editor* program, sebuah *window* yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
- b. *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah *microcontroler* tidak akan bisa memahami bahasa *Processing*. Yang bisa dipahami oleh *microcontroler* adalah kode biner. Itulah sebabnya *compiler* diperlukan dalam hal ini.
- c. *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam *memory* di dalam papan Arduino.

Sebuah kode program Arduino umumnya disebut dengan istilah *sketch*. Kata “*sketch*” digunakan secara bergantian dengan “kode program” dimana keduanya memiliki arti yang sama.

File instalasi *software* Arduino dapat diperoleh pada alamat situs web di bawah ini yang tersedia untuk sistem operasi *Windows*, *Mac* dan *Linux* <http://arduino.cc/en/Main/Software>. File instalasi ini berbentuk kompresi. Untuk menjalankan *software-software* Arduino maka file tersebut harus diekstrak ke dalam sebuah direktori. Beberapa *software* Arduino ditulis menggunakan bahasa pemrograman Java termasuk IDE-nya, sehingga ia tidak perlu diinstal seperti *software* pada umumnya tapi dapat langsung dijalankan selama komputer Anda telah terinstall Java runtime. IDE ini bisa langsung digunakan untuk membuat program namun untuk saat ini belum bisa dipakai untuk berkomunikasi dengan papan Arduino karena *driver* harus diinstal terlebih dahulu.

2.8 Motor DC (*Dirrect Current*)

Motor DC adalah piranti elektronik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi. Pada motor DC terdapat jangkar dengan satu atau lebih kumparan terpisah. Tiap kumparan berujung pada cincin belah (komutator). Dengan adanya insulator antara komutator, cincin belah dapat berperan sebagai saklar kutub ganda (*double pole, double throw switch*).

Menurut (Hendrik, 2013) Motor DC merupakan perangkat yang berfungsi merubah besaran listrik menjadi besaran mekanik. Prinsip kerja motor didasarkan pada gaya elektromagnetik. Motor DC bekerja bila mendapatkan tegangan searah

yang cukup pada kedua kutubnya. Tegangan ini akan menimbulkan induksi elektromagnetik yang menyebabkan motor berputar. Pada umumnya, motor diklasifikasikan menurut jenis *power* yang digunakan dan prinsip kerja motor.

Bagian utama motor DC terdiri dari dua bagian yaitu bagian bergerak yang disebut rotor (jangkar), dan bagian diam yang disebut stator.



Gambar 2.13 Motor DC menggunakan Gearbox

Motor DC yang digunakan pada robot beroda umumnya adalah motor DC dengan magnet permanen. Motor DC jenis ini memiliki dua buah magnet permanen sehingga timbul medan magnet diantara kedua magnet tersebut. Di dalam medan magnet inilah jangkar/rotor berputar. Jangkar yang terletak ditengah motor memiliki jumlah kutub yang ganjil dan pada setiap kutubnya terdapat lilitan. Lilitan ini terhubung ke area kontak yang disebut komutator. Sikat (brushes) yang terhubung ke kutub positif dan negatif motor memberikan daya ke lilitan sedemikian rupa sehingga kutub yang satu akan ditolak oleh magnet permanen yang berada didekatnya, sedangkan lilitan lain akan ditarik ke magnet permanen yang lain sehingga menyebabkan jangkar berputar. Ketika jangkar

berputar, komutator mengubah lilitan yang mendapat pengaruh polaritas medan magnet sehingga jangkar akan terus berputar selama kutub positif dan negatif motor diberi daya.

Kecepatan putar motor DC (N) adalah pembagian antara tegangan terminal (VTM) dikurangi perkalian arus jangkar motor dan hambatan jangkar motor dengan perkalian konstanta motor dan fluks magnet yang terbentuk pada motor

Perputaran motor DC secara umum berbanding lurus dengan tegangan yang di inputkan pada terminalnya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan putaran rendah maka terminal input diberi tegangan rendah minimal 3 volt dan untuk mendapatkan putaran tinggi maka terminal input diberi tegangan yang tinggi maksimal 12 volt. Untuk dapat mengendalikan perputaran motor DC, maka kita harus membuat tegangan output yang bervariasi (dapat diatur mulai dari 0 volt hingga tegangan maksimum secara linear).

Pengendalian kecepatan putar motor DC dapat dilakukan dengan mengatur besar tegangan terminal motor VTM. Metode lain yang biasa digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC adalah dengan teknik modulasi lebar pulsa atau Pulse Width Modulation (PWM).

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik untuk mengatur kecepatan motor DC yang umum digunakan. Dengan menggunakan PWM kita dapat mengatur kecepatan yang diinginkan dengan mudah. Teknik PWM untuk pengaturan kecepatan motor adalah, pengaturan kecepatan motor dengan cara merubah-ubah besarnya duty cycle pulsa. Pulsa yang berubah ubah duty cycle-nya inilah yang menentukan kecepatan motor. Besarnya amplitudo dan

frekuensi pulsa adalah tetap, sedangkan besarnya duty cycle berubah-ubah sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, semakin besar duty cycle maka semakin cepat pula kecepatan motor, dan sebaliknya semakin kecil duty cycle maka semakin pelan pula kecepatan motor. Sebagai contoh bentuk pulsa yang dikirimkan adalah seperti pada gambar 2.5, pulsa kotak dengan duty cycle pulsa 50%. Sedangkan sebagai contoh bentuk pulsa PWM adalah seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.14 Pulsa dengan duty cycle 50%

Pada gambar 2.5, semakin besar duty cycle pulsa kotak, maka semakin lama pula posisi logika high. Jika motor diatur agar berjalan ketika diberi logika high, maka jika memberi pulsa seperti pada gambar 2.5 diatas, maka motor akan berada pada kondisi “nyala-mati-nyala-mati” sesuai dengan bentuk pulsa tersebut. Semakin lama motor berada pada kondisi “nyala” maka semakin cepat pula kecepatan motor tersebut. Motor akan berputar dengan kecepatan maksimum jika mendapat pulsa dengan duty cycle 100%. Dengan kata lain motor mendapat logika high terus menerus.



Gambar 2.15 Pulsa PWM

Dengan mengatur besarnya duty cycle pulsa kotak yang dikirimkan, kita dapat mengatur banyaknya logika high yang diberikan pada motor, dengan kata lain mengatur lamanya waktu motor untuk berputar dalam satu periode pulsa. Jika lamanya waktu motor untuk berputar dalam satu periode pulsa ini berubah maka kecepatan putaran motor juga akan berubah, sesuai dengan duty cycle atau waktu motor untuk berputar dalam satu periode pulsa.

Duty cycle adalah perbandingan antara lebar pulsa high dengan siklus perioda kemudian dikali dengan 100.

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{Lebar pulsa high}}{\text{Siklus perioda}} \times 100 \dots\dots\dots (2.4)$$

Ilustrasi dari sinyal PWM (Pulse Width Modulation), Motor akan berputar selama lebar pulsa high. Dan tidak akan berputar selama lebar pulsa low. Pada gambar 2.5 diketahui duty cycle adalah 50%, artinya kecepatan motor hanya akan berputar 50% dari kecepatan penuh. Begitu juga pada gambar 2.6 duty cycle adalah 100%, artinya kecepatan motor hanya akan berputar 100% dari kecepatan penuh. Dengan demikian kecepatan motor dapat dikontrol. Dari penjelasan di atas dapat diketahui bahwa jika dikehendaki kecepatan penuh maka diberi lebar pulsa high secara konstan. Jika dikehendaki kecepatan bervariasi maka diberikan pulsa yang lebar high dan low-nya bervariasi kecepatan perputaran motor dinyatakan dalam rotation per minute (rpm) atau dapat diartikan sebagai jumlah putaran dalam satu menitnya. Kecepatan motor DC berbanding terbalik dengan torsi yang dihasilkannya. Torsi T pada motor DC dapat diartikan dengan perbandingan daya kerja motor DC P (watt) dengan kecepatan perputarannya ω (rpm).

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots (2.5)$$

Torsi motor juga dapat didefinisikan sebagai aksi dari suatu gaya pada motor F yang dapat mempengaruhi beban untuk ikut bergerak pada jarak tertentu.

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2.6)$$

Pengontrolan motor DC atau motor Listrik secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- a. Mengontrol kecepatan putaran motor,
- b. Merubah arah putaran motor
- c. Star/stop motor

2.9 Accumulator (Aki)

Aki adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Contoh-contoh aki adalah baterai dan kapasitor. Aki termasuk dalam jenis sel sekunder, artinya sel ini dapat dimuati ulang ketika muatannya habis. Ini karena reaksi kimia dalam sel dapat dibalikkan arahnya. Jadi sewaktu sel dimuati, energi listrik diubah menjadi energi kimia, dan sewaktu sel bekerja, energi kimia diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.16 Aki / Accu

Jenis aki yang digunakan adalah aki basah seperti yang terlihat pada gambar 2.5. Adapun cara kerja aki basah sebagai berikut:

2.9.1 Proses aki mengeluarkan arus

Pada saat baterai dalam keadaan *discharge* maka hampir semua asam melekat pada pelat-pelat dalam sel sehingga cairan elektrolit konsentrasinya sangat rendah dan hampir melulu hanya terdiri dari air (H_2O), akibatnya berat jenis cairan menurun menjadi sekitar $1,1 \text{ kg/dm}^3$ dan ini mendekati berat jenis air yang 1 kg/dm^3 . Sedangkan baterai yang masih berkapasitas penuh berat jenisnya sekitar $1,285 \text{ kg/dm}^3$. Dengan perbedaan berat jenis inilah kapasitas isi baterai bisa diketahui apakah masih penuh atau sudah berkurang yaitu dengan menggunakan alat hidrometer. Hidrometer ini merupakan salah satu alat yang wajib ada di bengkel aki (bengkel yang menyediakan jasa setrum/cas aki). Selain itu pada saat baterai dalam keadaan *discharge* maka 85% cairan elektrolit terdiri dari air (H_2O) dimana air ini bisa membeku, bak baterai pecah dan pelat-pelat menjadi rusak.

2.9.2 Proses aki menerima arus

Baterai yang menerima arus adalah baterai yang sedang disetrum/dicas alias sedang diisi dengan cara dialirkan listrik DC, dimana kutub positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri biasanya sama dengan tegangan total yang dimiliki baterai, artinya baterai 12 V dialiri tegangan 12 V DC, baterai 6 V dialiri tegangan 6 V DC, dan dua baterai 12 V yang dihubungkan secara seri

dialiri tegangan 24 V DC (baterai yang duhubungkan seri total tegangannya adalah jumlah dari masing-masing tegangan baterai).

Kebutuhan baterai minimum (baterai hanya digunakan 50% untuk pemenuhan kebutuhan listrik). Dengan demikian kebutuhan daya dikalikan 2 kali lipat.

2.10 *Baterai Control Unit (BCU)*



Gambar 2.17 Battery Control Unit

Gambar 2.17 merupakan BCU. BCU adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

Solar charge controller menerapkan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Solar panel 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt.

Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt.

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- 1) Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
- 2) Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak '*full discharge*', dan *overloading*.
- 3) Monitoring temperatur baterai

Untuk membeli *solar charge controller* yang harus diperhatikan adalah:

- 1) Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC
- 2) Kemampuan (dalam arus searah) dari *controller*. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
- 3) *Full charge* dan *low voltage cut*

Seperti yang telah disebutkan di atas *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel sel surya berhenti.

Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Solar Charge Controller biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel sel surya, 1 output (2 terminal) yang terhubung

dengan baterai / aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada '*diode protection*' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel sel surya ke baterai, bukan sebaliknya.

Charge Controller bahkan ada yang mempunyai lebih dari 1 sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin ataupun mikro hidro. Di pasaran sudah banyak ditemui *charge controller* 'tandem' yaitu mempunyai 2 input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk ini energi yang dihasilkan menjadi berlipat ganda karena angin bisa bertiup kapan saja, sehingga keterbatasan waktu yang tidak bisa disuplai energi matahari secara full, dapat disupport oleh tenaga angin. Bila kecepatan rata-rata angin terpenuhi maka daya listrik per bulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.

2.11 Alat Pengukur

2.11.1 Alat Ukur Intensitas Cahaya

Alat Ukur Intensitas Cahaya LX1330B merupakan alat pengukur intensitas cahaya atau biasa disebut digital lux meter model genggam yang mampu mengukur intensitas cahaya hingga 200.000 lux, pengukur intensitas cahaya ini memiliki tingkat akurasi tinggi dan respon yang sangat cepat dan sensitif.

alat ukur intensitas cahaya LX1330B ini dapat melakukan pengukuran intensitas cahaya mulai dari 0 sampai dengan 200.000 Lux, Alat Ukur Intensitas Cahaya LX1330B ini memiliki fitur easy switch yang memudahkan anda untuk mengganti satuan unit pengukuran antara Lux atau Footcandle hanya dengan menekan satu tombol. Lux meter digital ini hanya membutuhkan konsumsi daya

dari baterai berkapasitas 9V untuk melakukan tugasnya, yang bisa bertahan hingga 200 jam atau bahkan lebih lama. Fitur canggih lainnya yang sudah disematkan pada lux meter digital ini adalah fitur Data Hold, Auto Zero dan masih banyak lagi. *Alat Ukur Intensitas Cahaya LX1330B* ini akan membantu mengatur kondisi lingkungan anda seperti yang anda inginkan, khususnya pada masalah pencahayaan.

Alat ukur intensitas cahaya ini banyak digunakan pada bidang sinematografi dan desainer tata cahaya, untuk menentukan tingkat cahaya yang optimal untuk sebuah adegan. alat alat pengukur intensitas cahaya juga banyak digunakan pada bidang-bidang pencahayaan umum lainnya, untuk membantu mengurangi jumlah intensitas cahaya yang terbuang di rumah, polusi cahaya di luar, dan untuk memastikan tingkat intensitas cahaya yang tepat untuk pertumbuhan tanaman.

Adapun contoh alat ukur intensitas cahaya dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.18 Alat Ukur Intensitas Cahaya LX1330B

2.11.2 Alat Ukur Listrik

Alat ukur listrik adalah alat yang digunakan untuk mengukur besaran-besaran listrik seperti kuat arus listrik (I), beda potensial listrik (V), hambatan listrik (R), daya listrik (P), dll. Alat ukur listrik ini ada yang berupa alat ukur analog dan ada juga yang berupa alat ukur digital. Berikut adalah gambar alat-alat ukur listrik yang dibedakan berdasarkan fungsinya



Gambar 2.19 Jenis-jenis Alat Ukur Listrik

1. Ampermeter

Ampermeter adalah alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik dalam suatu rangkaian tertutup. Dalam pemasangannya, ampermeter ini harus dihubungkan paralel dengan sebuah hambatan shunt R_{sh} . Peasangan hambatan shunt ini tidak lain bertujuan untuk meningkatkan batas ukur galvanometer agar dapat

mengukur kuat arus listrik yang lebih besar dari nilai standarnya. Berikut adalah ilustrasi pengukuran kuat arus listrik menggunakan ampermeter.

2. Voltmeter

Voltmeter adalah alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur beda potensial atau tegangan pada ujung-ujung komponen elektronika yang sedang aktif, seperti kapasitor aktif, resistor aktif, dll. Selain itu, alat ini juga bisa digunakan untuk mengukur beda potensial suatu sumber tegangan, seperti batere, catu daya, aki, dll. Voltmeter dapat dibuat dari sebuah galvanometer dan sebuah hambatan eksternal R_x yang dipasang seri. Adapun tujuan pemasangan hambatan R_x ini tidak lain adalah untuk meningkatkan batas ukur galvanometer, sehingga dapat digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih besar dari nilai standarnya.

3. Ohmmeter

Ohmmeter adalah alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur hambatan suatu komponen, seperti resistor, dan hambatan kawat penghantar. Tidak seperti ampermeter dan voltmeter, ohmmeter dapat bekerja sesuai dengan fungsinya jika pada alat tersebut terdapat sumber tegangan, misalnya batere.

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1 Waktu dan tempat penelitian

Waktu yang dibutuhkan dalam perancangan dan penelitian pada bulan April 2018. Di lantai 10 gedung Al-Manar Universitas Muhammadiyah Makassar.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian panel surya dengan penggerak mengikuti arah matahari, yaitu :

1. Studi pendahuluan

Mengadakan bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk panel surya dengan penggerak mengikuti arah matahari.

2. Data kepustakaan

Pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini.

3. Tahap Perancangan

Dalam perancangan alat tugas akhir ini memiliki dua tahap yaitu merancang panel surya dan perancang sistem penggeraknya.

4. Penelitian Lapangan (*field research*)

Penelitian yang dilakukan secara langsung dengan cara melakukan pengukuran keluaran panel surya untuk mendapatkan tegangan. Untuk pengukuran intensitas cahaya matahari pengukuran dilakukan diluar rangkaian.

3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini diperlukan sejumlah alat dan bahan untuk merakit alat. Adapun alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

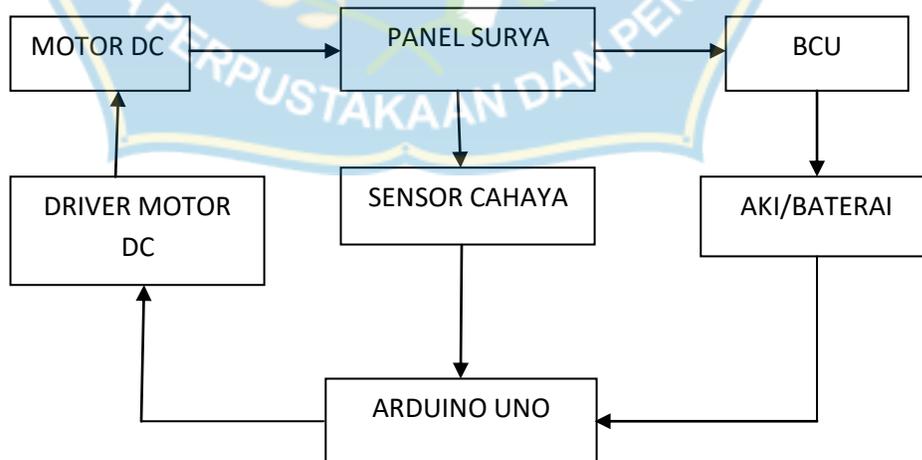
Tabel 3.1 alat yang digunakan

No	Alat	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Keterangan
1	Tang	Lancip,kombinasi,dankupas.	1	Buah	-
2	Palu	-	1	Buah	-
3	Obeng	Plus dan Minus	1	Buah	-
4	Kunci Pas	12	1	Buah	-
5	Bor Listrik	-	1	Buah	-
6	Mata Bor	10	1	Buah	-

Tabel 3.2 Bahan yang digunakan

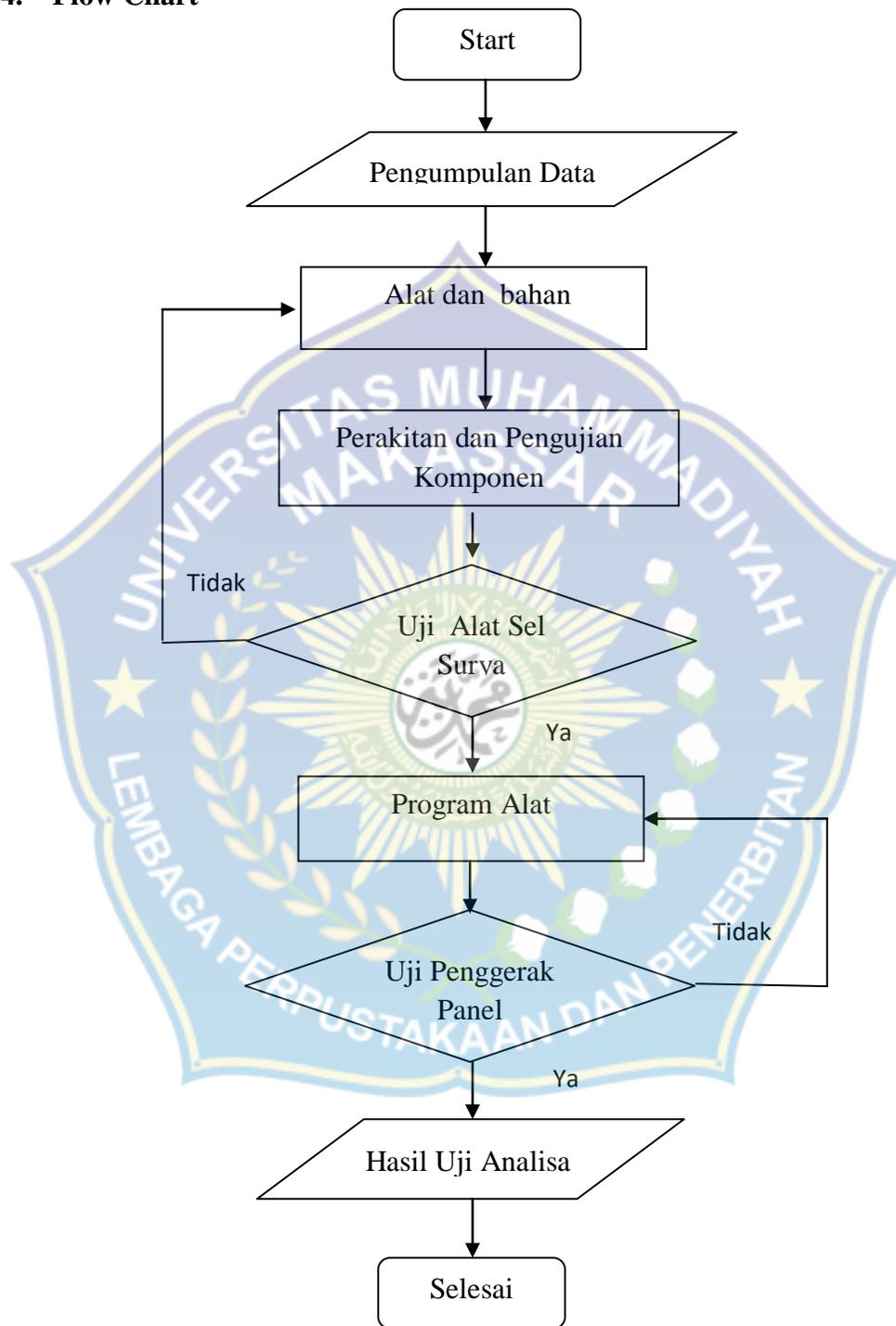
No.	Bahan	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Keterangan
1	Panel Sel Surya	100 WP	1	Buah	-
2	Aki/Baterai	100 Ah	1	Buah	-
3	BCU	-	1	buah	-
4	Arduino Uno		1	Buah	-
5	Motor DC	Gearbox	2	Buah	-
6	LCD 2x16	-	1	Buah	-
7	Driver Motor DC	-	1	Buah	-
8	Kabel Fimale to ★ Male	-	1	Buah	-

3.4 Blok diagram rangkaian



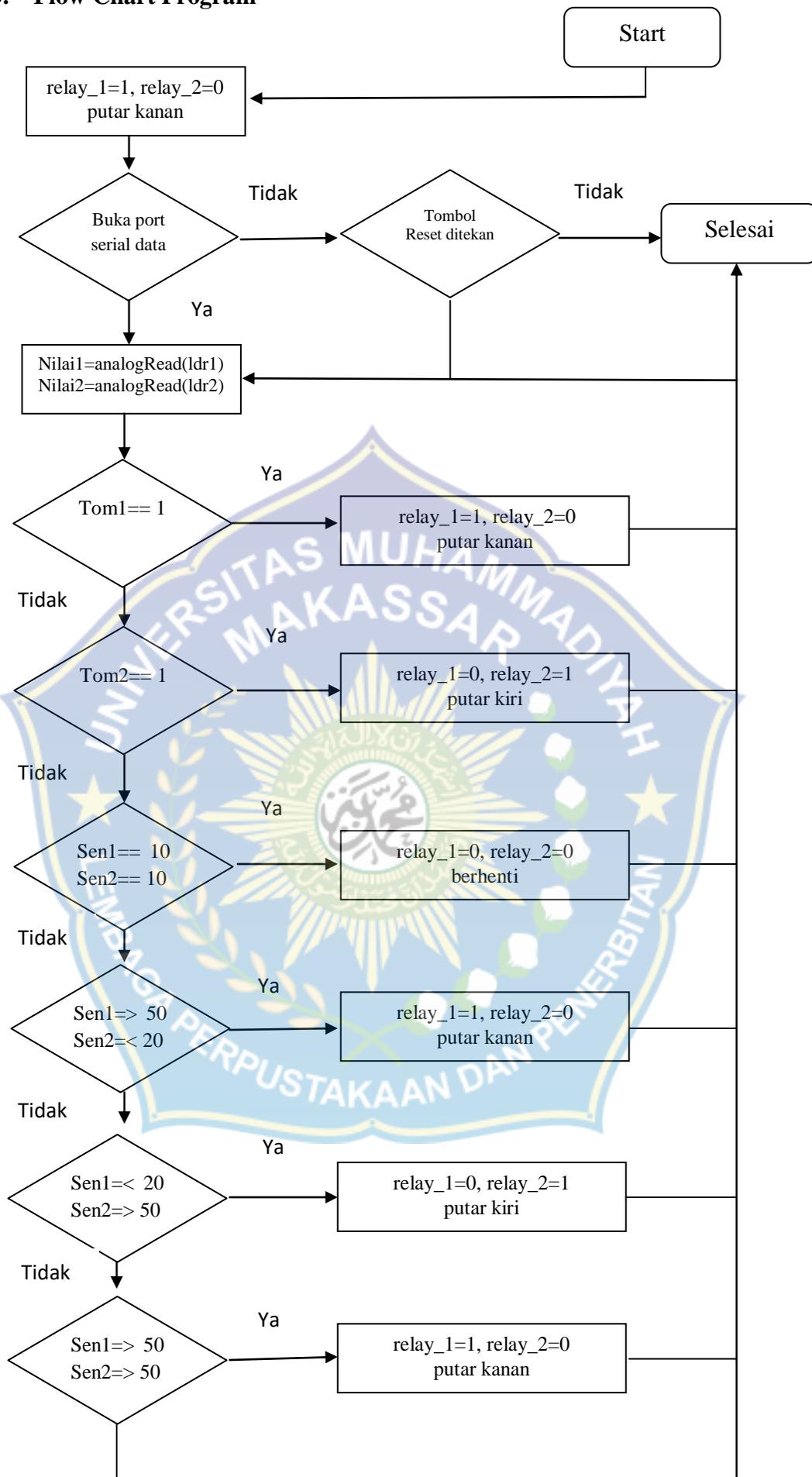
Gambar 3.3 blok diagram rangkaiann penggerak panel surya

3.4. Flow Chart



Gambar 3.4 flowchart Perancangan

3.5. Flow Chart Program

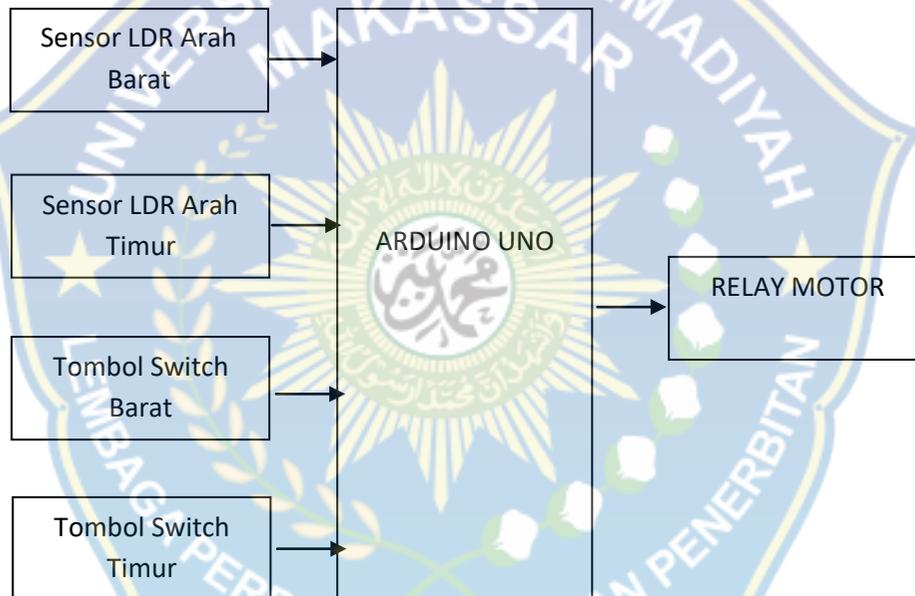


Gambar 3.3 flowchart Program

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Alat

Langkah pertama dalam perancangan adalah membuat blok diagram alur sensor LDR sebagai pembacaan arah matahari ke arduino sebagai sistem pengontrolan otomatis dan relay sebagai penggerak motor agar panel surya mengikuti arah matahari.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem Kendali Otomatis Sel Surya

Pada gambar 4.1 Sensor LDR dibuat menjadi dua arah yaitu arah barat dan timur dan menjadi input pada arduino, sedangkan tombol switch berfungsi ketika cahaya matahari redup dan tidak bisa dideteksi oleh sensor LDR maka dilakukan tindakan manual untuk mengatur posisi sel surya agar tetap mengikuti arah matahari

dan kembali keposisi awal. Arduino yang digunakan bertipe arduino uno dengan IC mikrokontroler 128P.

Dalam sistem kontrol otomatis peggerak panel surya mengikuti ara matahari ini, output tegangan VDC dari panel surya dimanfaatkan untuk mengisi *Accu*, menghidupkan sistem kontrol arduino, menyuplay tegangan bago koil relay, dan penyupali tegangan untuk sensor LDR.

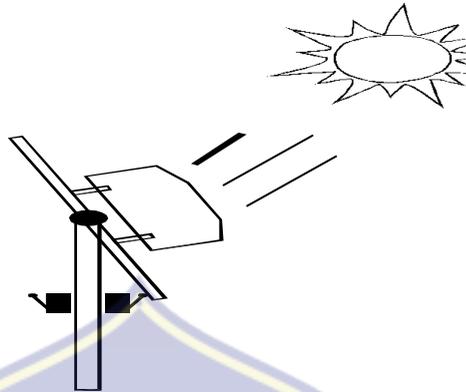
4.2 Prinsip Kerja Mekanisme Penggerak Sel Surya

Pada mekanisme sel surya terdapat dudukan sel surya yang dapat berputar kekanan dan kekiri. Perputaran dudukan sel surya tersebut digerakkan oleh motor dan mendapat perintah dari arduino dan tombol switch yang berada dipanel surya.arduino memberi perintah jika mendapat sinyal dari sensor LDR yang peka dari cahaya yang berada pada mekanisme solar sel.

Pada rangka sel surya juga terdapat tombol switch untuk membatasi gerakan papan sel surya. Tombol bekerja dengan memeberi sinyal ke arduino untuk memberi perintah kepada motor berhenti bila sel surya berada pada sudut 20° dan sudut 140° .



Gambar 4.2 Matahari berada pada sudut 20°

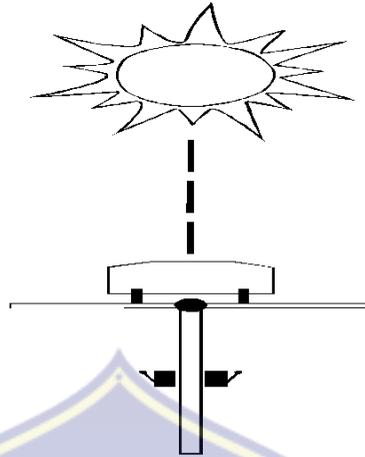


Gambar 4.3 Matahari berada pada sudut 140°

Perputaran motor ke arah timur ke barat akan berhenti pada kedua derajat tersebut. Dikarenakan sensor LDR sudah tidak menemukan sumber matahari. Pada saat itu arduino memberikan perintah kepada relay. Sehingga relay terputus dan tegangan dari baterai dan motor DC kesudut tersebut berhenti.

Pada saat matahari terbit, sensor timur pertama membaca keberadaan matahari sehingga memberikan sinyal ke arduino untuk memerintahkan relay menggerakkan motor ke arah timur dan begitupun seterusnya sampai matahari berada dibarat. Ketika matahari sudah berada dibarat dan semua sensor sudah tidak membaca keberadaan matahari ditekan tombol switch timur agar kembali keposisi atas dan meberhentikan pergerakan sel surya.

Proses akan terus berlangsung selama matahari mengalami perpindahan posisi siang hari sampai sore hari.



Gambar 4.4 Matahari berada pada sudut 90°

4.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Pada pengujian ini akan dilakukan meliputi efisiensi cahaya matahari pelacak surya dibanding dengan panel surya pada posisi tetap, dan tegangan keluaran panel adapun hasilnya sebagai berikut:

4.3.1 Hasil Pengujian Intensitas cahaya Matahari

Untuk menganalisa berbandingan intensitas penerimaan cahaya matahari digunakan alat ukur lux meter menggunakan dua tahap yaitu papan sel surya berada posisis tegak lurus 90° dan papan sel surya mengikuti arah matahari.

Tabel 4.1 Data pengukuran intensitas cahaya posisi sel surya tegak lurus

Waktu Pengukuran	intensitas (lux)	Sudut (derajat)
10.00	90	90
10.30	89	90
11.00	70	90
11.30	105	90

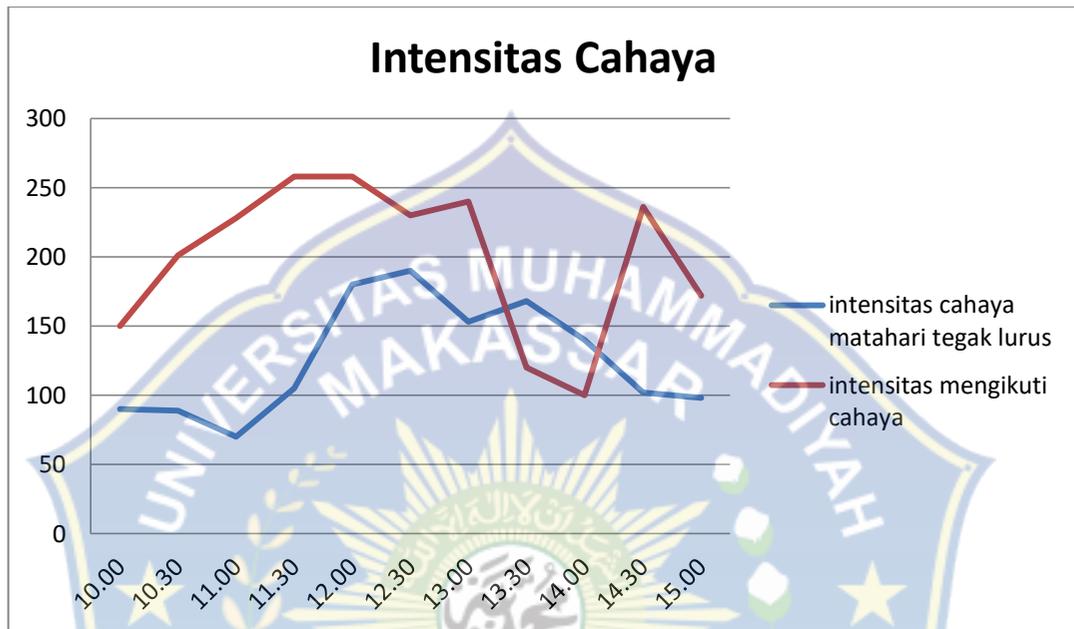
12.00	180	90
12.30	190	90
13.00	153	90
13.30	168	90
14.00	140	90
14.30	102	90
15.00	98	90

Selanjutnya melakukan pengukuran intensitas cahaya dengan panel surya yang bergerak mengikuti arah matahari.

Tabel 4.2 Data pengukuran intensitas cahaya dengan penggerakan panel surya

Waktu Pengukuran	intensitas (lux)	Sudut (derajat)
10.00	150	60
10.30	201	65
11.00	228	70
11.30	258	80
12.00	258	90
12.30	230	95
13.00	240	105
13.30	120	117
14.00	100	125
14.30	236	130
15.00	172	135

Ketika melakukan analisa intenitas cahaya matahari dapat dilihat perbandingan yang sangat signifikan pada data tabel yang sel surya tegak lurus sengan sel surya yang bergerak mengikuti arah matahari.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan intensitas cahaya tiap waktu

Pada grafik perbandingan intensitas cahaya matahari, panel surya yang tegak lurus 90^0 dengan panel surya yang mengikuti matahari memiliki perbandingan yang signifikan. Penurunan intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya difaktorkan oleh cuaca yang mendung.

4.3.2 Hasil Pengujian Tegangan dan Arus

Pada saat dilakukan menganalisa berbandingan intensitas penerimaan cahaya matahari dilakukan pula pengukuran tegangan yang dihasilkan pada panel surya.

Tabel 4.3 Data pengukuran tegangan dan arus pada panel tegak lurus

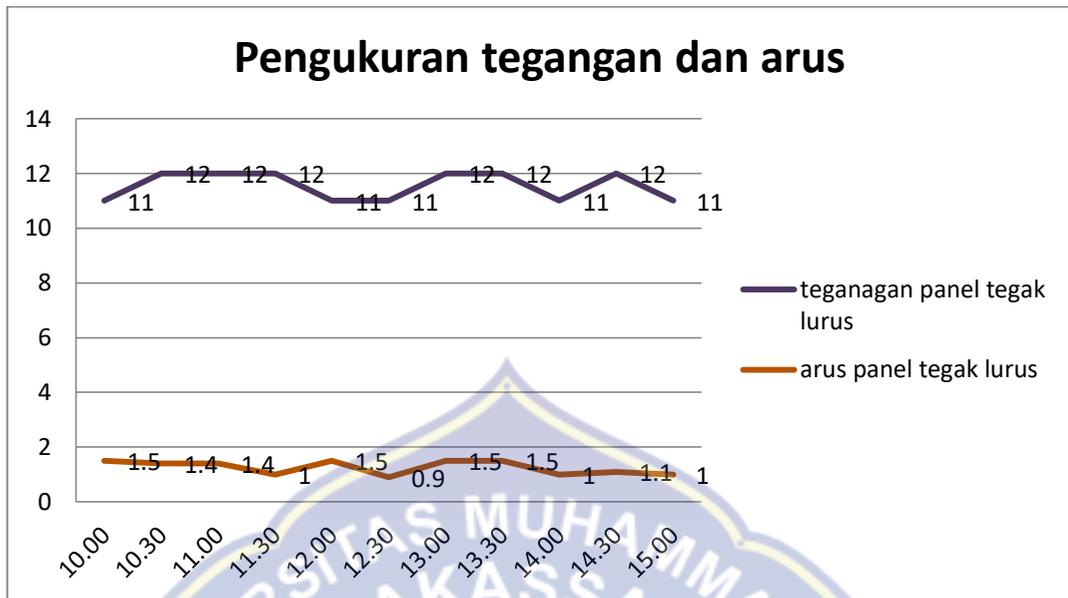
intensitas (lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Sudut (derajat)
90	11	1,5	16,5	90
89	12	1,4	16,8	90
70	12	1,4	16,8	90
105	12	1	12	90
180	11	1,5	16,5	90
190	11	0,9	9,9	90
153	12	1,5	18	90
168	12	1,5	18	90
140	11	1	11	90
102	12	1,1	13,5	90
98	11	1	11	90

Selanjutnya melakukan pengukuran tegangan dan arus dengan panel surya yang bergerak mengikuti arah matahari.

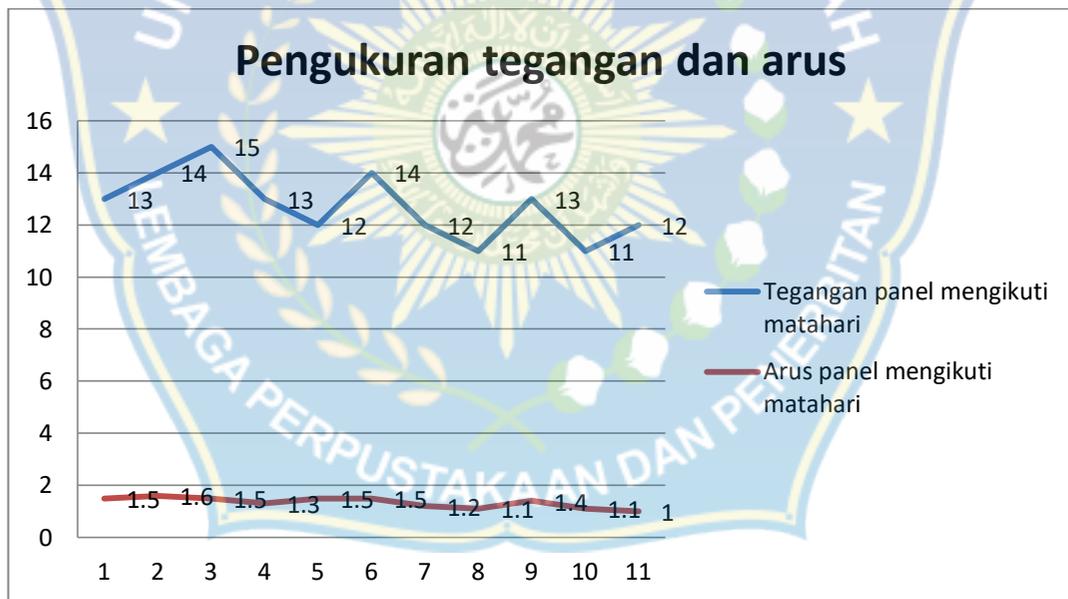
Tabel 4.4 Data pengukuran tegangan dan arus dengan penggerakan panel surya

intensitas (lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Sudut (derajat)
150	13	1,5	19,5	60
201	14	1,6	22,4	65
228	15	1,5	22,5	70
258	13	1,3	16,9	80
258	12	1,5	18	90
230	14	1,5	21	95
240	12	1,2	14,4	105
120	11	1,1	12,1	117
100	13	1,4	18,2	125
236	11	1,1	12,1	130
172	12	1	12	135

Ketika melakukan analisa tegangan dan arus dapat dilihat perbandingan yang sangat signifikan juga pada data tabel yang sel surya tegak lurus dengan sel surya yang bergerak mengikuti arah matahari. Tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh sel surya tidak stabil. Hal ini disebabkan karena kondisi cuaca pada saat pengukuran berubah-ubah sehingga sinar yang diterima oleh sel surya juga berubah-ubah



Gambar 4.6.1 Grafik perbandingan tegangan dan arus tiap waktu



Gambar 4.6.2 Grafik perbandingan tegangan dan arus tiap waktu

Pada gambar diatas dapat dilihat perbandingan tegangan dan arus pada panel surya yang tegak lurus dan bergerak mengikuti arah matahari. Pada panel surya yang bergerak mengikuti arah matahari tengangan yang dihasilkan maksimal 15 volt

sedangkan pada panel yang tegak lurus maksimal tegangan yang dihasilkan sampai 12 volt.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun alat penggerak panel mengikuti arah matahari, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Mekanisme sel surya terdapat kedudukan sel surya yang dapat berputar kekanan dan kekiri. Perputaran kedudukan sel surya tersebut digerakkan oleh motor dan mendapat perintah dari arduino dan tombol switch yang berada dipanel surya.arduino memberi perintah jika mendapat sinyal dari sensor LDR yang peka dari cahaya yang berada pada mekanisme solar sel.
2. Panel surya yang bergerak mengikuti arah matahari tegangan yang dihasilkan maksimal 15 volt sedangkan pada panel yang tegak lurus maksimal tegangan yang dihasilkan cuman sampai 12 volt.
3. Alat panel surya yang mengikuti arah matahari dapat dibuat dalam skala besar dan bisa dimanfaatkan oleh masyarakat.

5.2 Saran

Pada kesempatan ini juga kami ingin menyampaikan beberapa saran, yaitu :

1. Jika pada saat kami hanya menggunakan arah gerak panel kanan ke kiri diharapkan kedepan dapat dibuat panel yang bergerak segala arah.
2. Kami juga menyarankan, jika pada saat ini kami hanya bisa membuat secara lingkup kecil, kedepannya dibuat dalam lingkup panel yang banyak atau skala besar

3. Pada panel surya yang dibuat memiliki 50 W diharapkan kedepan menggunakan panel surya diatas 50 W.



DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto Heri. 2015. *Pemrograman mikrocontroller AVR Atmega 16 Menggunakan Bahasa C*. Bandung : Informatika
- Budiarto Widodo, Firmansya Sigit. 2010. *Elektronika Digital + Mikroprosesor*. Yogyakarta : CV Andi.
- Endra P, Desain, *Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. - Yogyakarta : Andi, 2006.
- Green MA., Emery K, King DL, Hisikawa Y, Warta W, 2006. *Solar Cell Efficiency Tables (Version 27)*, Progress Photovoltaics : Research and Applications, 2006; 14:45-51
- Keogh, M. William and Blackers, W. Andrew, 2001. *Accurate Measurement, Using Natural Sunlight, of Silicon Solar Cells*, Research and Applications 2001; 12;1-19, Centre for Sustainable Energy Systems, The Australian National University, Canberra, Australia
- Muslim, H. Soepari. 2008. *Teknik Pembangkit Listrik, Jilid 1,2 dan 3*. Departemen Pendidikan Nasional.
- Pahlevi, Reza (2014). *Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya*. Skripsi. Universitas muhammadiyah Surakarta.
- Stevenson, William Jr. 1984 *Analisis Sistem Tenaga Listrik, Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga.
- Wikipedia.org. *Solar Cell*. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell. Disunting tanggal 22 November 2007.