



**PENGUNAAN DIODA JENIS LED (LIGHT EMITING DIODE) PADA
PEMBUATAN SEL SURYA SEDERHANA BERBASIS BAHAN
SEMIKONDUKTOR**

SKRIPSI

Oleh

**AHMAD RUSLAN ABDUL A
NIM 090210102044**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGUNAAN DIODA JENIS LED (LIGHT EMITING DIODE) PADA
PEMBUATAN SEL SURYA SEDERHANA BERBASIS BAHAN
SEMIKONDUKTOR**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

**AHMAD RUSLAN ABDUL A
NIM 090210102044**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahanda tercinta Bripda Sudiyono (Alm) dan Ibunda tercinta Dra. Ulfaidah yang senantiasa memberikan motivasi, restu dan do'a disetiap langkahku untuk selalu menjadi yang terbaik;
2. Kakekku H. Djunaidi (Alm) dan Nenekku Hj. Hasanah serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan motivasi dan do'a dalam setiap perjuanganku serta curahan kasih sayang mereka yang telah diberikan selama ini;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater tercinta Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

1. “ Skripsi Yang Baik adalah Skripsi yang Selesai ”.

(Anies Baswedan *)

2. “ You are Nothing without Me ”

(Prof. James Moriarty **)

*) Pidato Anies Baswedan di Universitas Gajah Mada Jogjakarta

***) Perkataan Jame morirty kepada Sherlock Holmes dalam Film “Sherlock Holmes versi BBC”

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Ruslan Abdul A

NIM : 090210102044

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Penggunaan Dioda Jenis LED (*Light Emiting Diode*) Pada Pembuatan Sel Surya Sederhana Berbasis Bahan Semikonduktor” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Mei 2016

Yang menyatakan,

Ahmad Ruslan Abdul A

NIM 090210102044

SKRIPSI

**PENGUNAAN DIODA JENIS LED (LIGHT EMITING DIODE) PADA
PEMBUATAN SEL SURYA SEDERHANA BERBASIS BAHAN
SEMIKONDUKTOR**

Oleh

Ahmad Ruslan Abdul A

NIM 090210102044

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Yushardi, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Rif'ati Dina Handayani, S.Pd, M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul ” Penggunaan Dioda Jenis LED (*Light Emiting Diode*) Pada Pembuatan Sel Surya Sederhana Berbasis Bahan Semikonduktor” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal:

Tempat : Program Studi Pendidikan Fisika

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Yushardi, S.Si, M.Si
NIP. 19650420 199512 1 001

Rif’ati Dina Handayani, S.Pd, M.Si.
NIP. 19810205 200604 2 001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.
NIP. 19680710 199302 1 001

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si
NIP. 19620401 198702 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd
NIP. 1954051 198303 1 005

RINGKASAN

Penggunaan Dioda Jenis LED (*Light Emitting Diode*) Pada Pembuatan Sel Surya Sederhana Berbasis Bahan Semikonduktor; Ahmad Ruslan Abdul A; 090210102044; 2016: 49 Halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Fisika adalah salah satu cabang Ilmu Pengetahuan Alam yang membahas tentang kejadian Alam di sekeliling Kita. Alam Sudah memiliki karakteristik yang sering kali dijadikan Objek pengamatan Manusia Salah satunya Yakni Energi. Dalam Fisika bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan hanya dapat berubah wujud dari wujud satu ke wujud yang lain. Perubahan Energi di Alam sangat bergantung pada Kebutuhan Manusia salah satu energi yang sangat di butuhkan oleh manusia modern adalah Energi Listrik. Kebutuhan Energi listrik saat ini hanya didapat dari Pembakaran Karbon sehingga Harus ada Solusi Agar Energi listrik di dapat dengan Sangat mudah Salah satu cara dan media yang dapat digunakan adalah Penggunaan LED (*Light Emitting Diode*) untuk Sel Surya Sederhana dengan Tujuan Sebagai Berikut : (1) Mengetahui hubungan antara Rangkaian Sel Surya Sederhana Berbasis LED (*Light Emitting Diode*) Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan. (2) Hubungan Nilai Lux Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan Rangkaian Sel Surya Sederhana Berbasis LED (*Light Emitting Diode*).

Jenis Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang dilaksanakan di Laboratorium Fisika FKIP Universitas Jember . Penelitian ini menguji Rangkaian LED yang berjumlah 10 buah dengan warna yaitu Putih. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi observasi, dan dokumentasi. Sumber data berasal dari Tegangan yang dihasilkan Sel Surya Sederhana dengan Menggunakan LED. Analisa data Dengan Menghubungkan Tegangan Keluaran Terhadap LED dengan susunan seri, seri-paralel dan paralel. Hasil penelitian beda potensial paling tinggi adalah

rangkaian 10 seri dikarenakan sambungan LED (*light Emiting Diode*) secara seri mendapatkan penguatan yang tinggi dan hasil penguatan pada LED (*light Emiting Diode*) yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh LED (*light Emiting Diode*) selanjutnya nilai illuminasi berbanding lurus dengan intensitas cahaya, intensitas cahaya yakni radiasi matahari yang diterima panel. Saat nilai illuminasi mengalami kenaikan maka tegangan yang dihasilkan mengalami kenaikan juga, hal ini dikarenakan saat nilai Illuminasi mengalami kenaikan maka terjadi kenaikan pula pada Intensitas cahaya dimana semakin besar Intensitas cahaya maka foton yang mengenai sambungan PN pada LED (*light Emiting Diode*) menggerakkan elektron dan hole lebih Banyak ketimbang nilai Illuminasi yang lebih kecil.

Berdasarkan data yang diperoleh, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah : (1) Ada hubungan antara Rangkaian (seri, parallel dan seri-paralel) Sel Surya Sederhahana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*) Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan. Bentuk rancangan sel surya mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Rangkaian 10 seri menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 1450 mV, rangkaian 5 seri x 5 paralel menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 1188 mV dan rangkaian 10 paralel menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 98 mV (2) Ada hubungan Nilai Lux Terhadap Tegangan yang dihasilkan Rangkaian Sel Surya Sederhahana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*). Semakin tinggi Nilai Lux yang mengenai LED (*Light Emiting Diode*) maka tegangan yang dihasilkan semakin besar pula, hal ini terjadi apabila mengalami perubahan nilai illuminasi yang berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari yang mengakibatkan foton yang mengenai sambungan PN pada panel sel surya.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penggunaan Dioda Jenis LED (*Light Emiting Diode*) Pada Pembuatan Sel Surya Sederhana Berbasis Bahan Semikonduktor”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

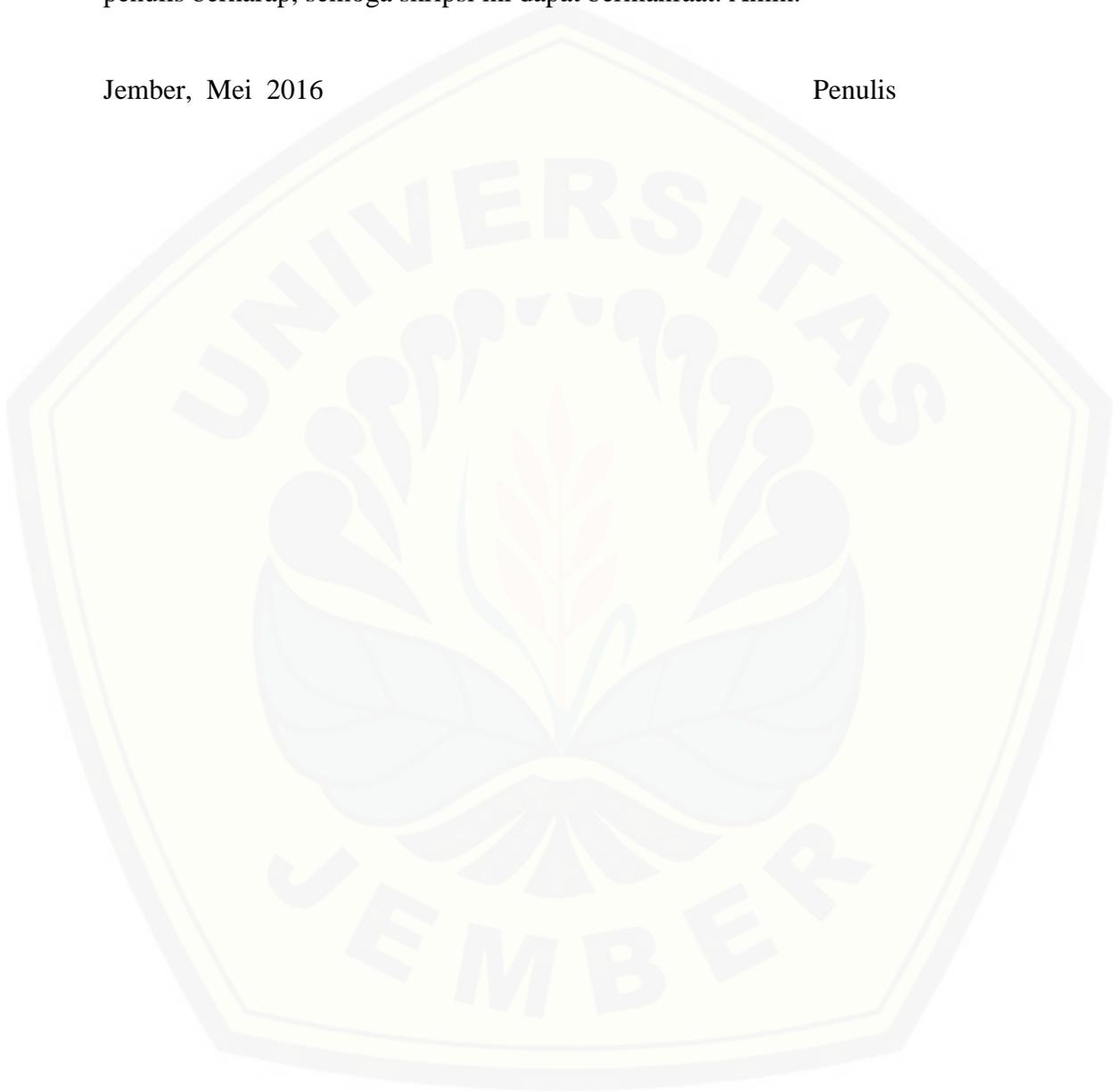
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember (Prof. Dr. Sunardi, M.Pd), yang telah memberikan pengesahan dan perizinan dalam penyelesaian skripsi ini;
2. Dosen Pembimbing Utama (Dr. Yushardi, S.Si., M.Si.) dan Dosen Pembimbing Anggota (Rif’ati Dina Handayani S.Pd, M.Si) yang telah meluangkan banyak waktu, pikiran, tenaga serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
3. Dosen Penguji Utama (Dr. Bambang Supriadi, M.Sc) dan Dosen Penguji Anggota (Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si) yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk menguji serta memberikan kritik dan saran yang konstruktif sebagai bentuk perbaikan;
4. Kepala Laboratorium Fisika Universitas Jember (Drs. Subiki, M.Kes) yang telah memberikan izin kepada saya untuk melakukan penelitian di Laboratorium Fisika;
5. Observer Penelitian yang telah terlibat ikut membantu dalam proses pelaksanaan penelitian dalam setiap kondisi apapun;

Besar harapan penulis bila segenap pembaca memberikan kritik dan saran yang bersifat konstruktif (membangun) demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Jember, Mei 2016

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bahan Semikonduktor	5
2.1.1 Semikonduktor Intrinsik	7
2.1.1 Semikonduktor ekstrinsik	8
2.2 Dioda sambungan p-n	11
2.3 LED (<i>Light Emiting Diode</i>)	14
2.4 Sel Surya	17

2.4.1 Karakteristik Sel Surya	20
2.4.2 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi....	21
2.4.3 Pengaruh Sudut Datang terhadap Radiasi yang diterima	22
2.5 Pencahayaan	23
2.5.1 Pencahayaan Alami	23
2.5.2 Pencahayaan Buatan	23
2.6 LED (<i>Light Emitting Diode</i>) Sebagai Sel Surya Sederhana	24
BAB 3. METODE PENELITIAN	28
3.1 Jenis Penelitian	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Definisi Operasional Variabel	28
3.3.1 Sel Surya	28
3.3.2 LED (<i>Light Emting Diode</i>)	29
3.3.3 Nilai Lux	29
3.4 Alat dan Bahan	29
3.5 Desa in Alat Penelitian	30
3.6 Alur Penelitian	32
3.7 Langkah Penelitian	32
3.8 Teknik Penyjian Data	35
3.9 Teknik Analisa Data	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.2 Pembahasan	42
BAB 5. PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN-LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

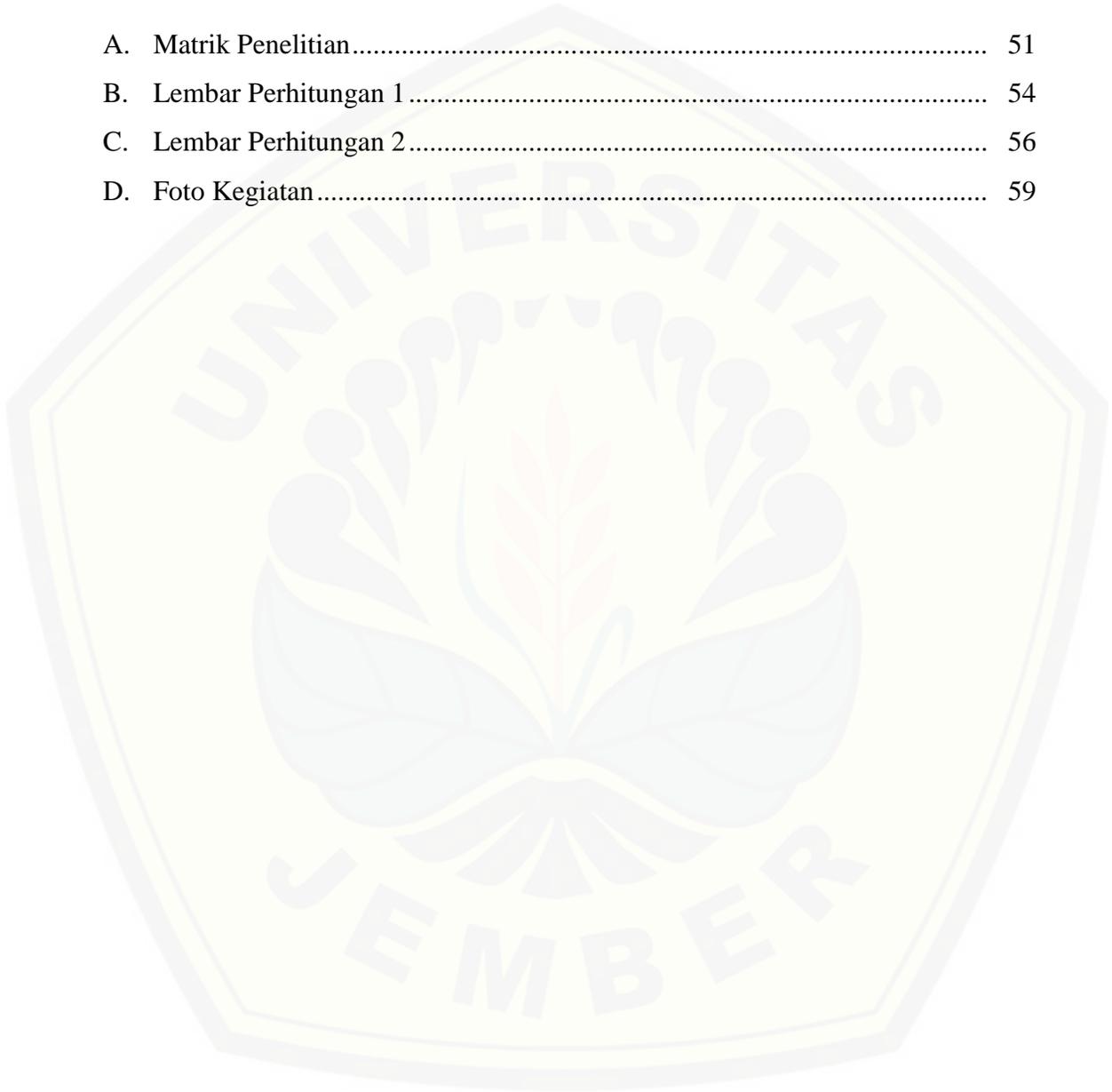
	Halaman
2.1 Properti Dasar Silikon dan Germanium Pada Suhu 300 K	8
2.2 Elemen semikonduktor pada tabel periodik	9
3.1 Tabel Penyajian Data	37
4.1 Tabel Hasil Data Rangkaian seri.....	39
4.2 Tabel Hasil Data Rangkaian seri-paralel	39
4.3 Tabel Hasil Data Rangkaian paralel.....	40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Ikatan Kovalen ilkion dalam 2 Dimensi	7
2.1 Struktur kristal silikon.....	8
2.3 Diagram Pita Energi.....	8
2.4 Struktur kristal silikon.....	10
2.5 Struktur pita energi semikonduktor tipe- <i>n</i>	11
2.6 Struktur kristal silikon dengan sebuah atom pengotor valensi.....	12
2.7 Struktur pita energi semikonduktor tipe- <i>p</i>	12
2.8 Simbol Dioda	13
2.9 Karakteristik Dioda.....	15
2.10 Penampakan LED Simbol Dioda	17
2.11 Proses perubahan Energi Matahari.....	20
2.12 Elektron dari Pita Konduksi	19
2.13 Tingkat Energi.....	19
2.14 Grafik Arus terhadap Tegangan	22
2.15 Radiasi Sorotan.....	23
3.1 Rangkaian Sel surya.....	24

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Matrik Penelitian.....	51
B. Lembar Perhitungan 1.....	54
C. Lembar Perhitungan 2.....	56
D. Foto Kegiatan.....	59



BAB 1. PENDAHULUAN

Bab pendahuluan merupakan bagian awal yang memuat uraian mengenai alasan peneliti memilih topik yang akan diteliti. Pada bab ini akan diuraikan tentang: 1) latar belakang, 2) perumusan masalah, 3) batasan masalah, 4) tujuan penelitian, dan 5) manfaat penelitian.

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan tingkat kemajuan peradaban umat manusia. Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar. Kendala tersebut adalah sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan umat manusia itu sendiri. Oleh karena itu pengembangan sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Sumber-sumber tenaga terbarukan tersebut seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, tenaga gelombang air laut dan lain-lain.

Indonesia terletak pada $6^{\circ}\text{LU} - 11^{\circ}\text{LS}$ dan $95^{\circ}\text{BT} - 141^{\circ}\text{BT}$. Berdasarkan letak astronomi tersebut Indonesia dilalui oleh suatu garis yang dinamakan garis khatulistiwa (garis ini juga disebut garis equator dan garis lintang 0°). Garis khatulistiwa berada di tengah bumi yang membagi bumi menjadi dua bagian sama besarnya. Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis. Secara umum, negara-negara yang beriklim tropis adalah negara yang hangat dengan sinar matahari yang melimpah. Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa memperoleh sinar matahari rata-rata 12 jam/hari memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Suatu kenyataan bahwa kebutuhan energi khususnya energi listrik di Indonesia, makin berkembang menjadi kebutuhan

hidup masyarakat sehari-hari seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi industri, teknologi komunikasi, dan sebagainya.

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini, dimana hampir semua aktifitas manusia berhubungan dengan energi listrik. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan tingkat populasi penduduk di Indonesia yang semakin tinggi maka permintaan akan energi listrik juga meningkat. Oleh karena itu berbagai upaya dilakukan oleh pemerintah agar dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat (Sugihartono, 2009: <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-8609-2107202001-BAB%20I.pdf>).

Sel fotovoltaik adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Sel ini berguna untuk merubah energi cahaya yang nantinya diubah menjadi energi listrik dengan efisiensi tertentu. Sistem sel fotovoltaik pada dasarnya terdiri dari *pn junction* atau ikatan antara sisi positif dan negatif di dalam sebuah sistem semikonduktor sel fotovoltaik yang juga dikenal dengan nama *solar cell* atau sel surya. Pada sel fotovoltaik sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi cahaya (Handini, 2009: 1).

LED (*Light Emitting Diode*) adalah Komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberi tegangan maju. LED merupakan keluarga dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor yang terdiri dari sebuah chip semikonduktor yang di doping sehingga menciptakan *junction P* dan *N*. Dioda digunakan untuk pembuatan sel surya sederhana karena semikonduktor ini bentuknya sederhana dan memiliki harga yang murah sehingga masih dapat dijangkau oleh masyarakat luas yang akan membuat sel surya sederhana.

Ariswan (2011) melakukan penelitian yang berjudul "Prospek penelitian dan aplikasi fotovoltaik sebagai sumber Energi alternatif di Indonesia" yang dilakukan adalah menganalisis jenis bahan semikonduktor terhadap bahan penyusun utama sel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sel surya paling sederhana merupakan sambungan dua jenis semikonduktor tipe P dan N. Sambungan P-N dapat meningkatkan efisiensi konversi sel surya dapat dilakukan

dengan memilih bahan dengan energi gap yang tepat atau dengan sistem tandem sehingga mampu menyerap sebagian besar spektrum energi surya.

Penelitian yang dilakukan oleh Taufiq Taman (2013) dengan judul “Pembuatan *prototype* panel surya LED (*Light Emiting Diode*) sebagai sumber energi alternatif” dengan menggunakan LED berbagai warna yang disusun seri, parallel dan seri-parallel pada rangkaian *prototype* panel surya. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan LED dapat menghasilkan energi litrik dengan beberapa rangkaian untuk LED yang berjumlah 2 disusun seri menghasilkan 1.826 volt, 2 LED disusun paralel menghasilkan 1,351 volt, 10 LED di susun seri Menghasilkan 3.064 volt dan 10 LED disusun paralel menghasilkan 1,511 volt.

Berdasarkan fakta dan hasil penelitian diatas, maka penelitian ini diberi judul "**Penggunaan Dioda Jenis LED (*Light Emiting Diode*) Pada Pembuatan Sel Surya Sederhana Berbasis Bahan Semikonduktor**” Penelitian yang akan dilakukan mengenai sambungan *p-n* pada *LED* sebagai sel surya dengan memperhatikan waktu penyinaran dan rangkaian seri paralel. Rangkaian *LED* sebagai sel surya dengan jumlah 10 buah *LED* disusun secara seri, seri-parallel, dan paralel.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah hubungan antara Rangkaian (seri, paralel dan seri-parallel) Sel Surya Sederhahana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*) Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan ?
- b. Bagaimana hubungan Nilai Illuminasi Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan Rangkaian Sel Surya Sederhahana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui hubungan antara Rangkaian Sel Surya Sederhana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*) Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan.
- b. hubungan Nilai Lux Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan Rangkaian Sel Surya Sederhana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*)

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat yaitu:

- a. Dapat memberikan gambaran dan pengetahuan mengenai LED (*Light Emiting Diode*) sebagai sel surya sederhana.
- b. Pemanfaatan Energi Cahaya sebagai Energi terbarukan dapat diaplikasikan secara luas.
- c. Hasil Penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pemikiran bagi perkembangan Ilmu Pengetahuan.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat terarah dan dapat mencapai sasaran yang diharapkan maka dibuat batasan-batasan penelitian sebagai berikut :

- a. Pada penelitian ini sampel LED yang digunakan putih
- b. Rangkaian LED (*Light Emiting Diode*) disusun di atas PCB.
- c. Penelitian ini hanya membahas pengaruh Rangkaian LED (*Light Emiting Diode*) terhadap Tegangan yang dihasilkan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka akan dijelaskan tentang teori-teori penunjang yang berkaitan dengan penelitian. Adapun uraian bab ini antara lain: 1) Bahan Semikonduktor, 2) Dioda, 3) LED (*Light Emitting Diode*), 4) Sel Surya, 5) Pencahayaan, 6) Hukum Ohm dan 7) LED (*Light Emitting Diode*) Sebagai Sel Surya Sederhana.

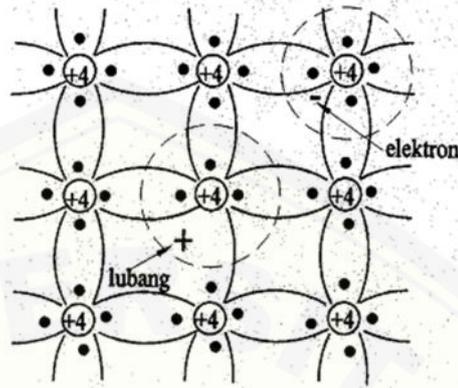
2.1 Bahan Semikonduktor

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara insulator dan konduktor. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai insulator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. (K Muller, 2011 : 54) Semikonduktor didefinisikan berdasarkan konduktivitas listriknya, yakni semikonduktor merupakan bahan yang mempunyai resistivitas (10^{-4} sampai $0,5 \Omega\text{m}$) antara konduktor dan isolator, contohnya germanium, silikon, karbon, selenium, dan sebagainya. Berdasarkan mekanisme terbentuknya gejala semikonduktivitas, semikonduktor terdiri atas:

2.1.1 Semikonduktor Intrinsik

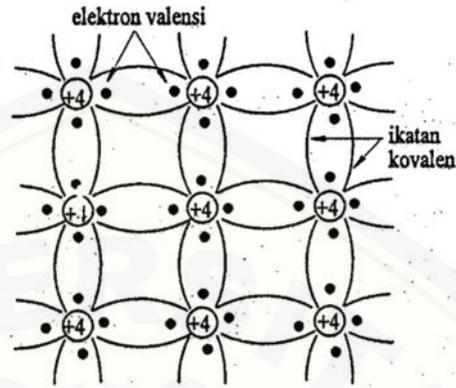
Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor yang terdiri atas satu unsur saja, misalnya Si atau Ge. Pada Kristal semikonduktor Si, 1 atom Si yang memiliki 4 elektron valensi berikatan dengan 4 atom Si lainnya. Silikon dan germanium merupakan dua jenis semikonduktor yang sangat penting dalam elektronika. Keduanya terletak pada kolom empat dalam tabel periodik dan mempunyai elektron valensi empat. Struktur kristal silikon dan germanium berbentuk tetrahedral dengan setiap atom memakai bersama sebuah elektron valensi

dengan atom-atom tetangganya. Gambar 2.1 memperlihatkan bentuk ikatan kovalen dalam dua dimensi.

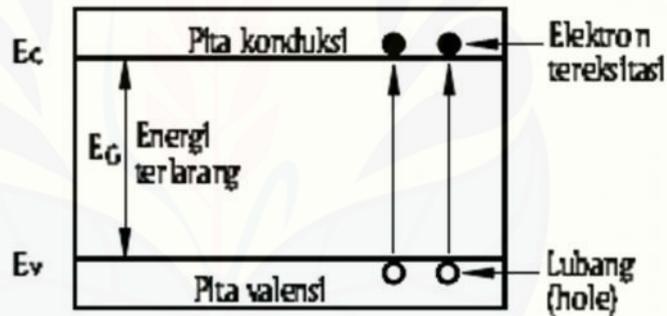


Gambar 2.1 Ikatan Kovalen silikon dalam 2 Dimensi (Sutrisno,2011 : 54)

Energi yang diperlukan untuk memutus sebuah ikatan kovalen adalah sebesar 1,1 eV untuk silikon dan 0,7 eV untuk germanium. Pada temperatur ruang (300K), sejumlah elektron mempunyai energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas (gambar 2.2). Besarnya energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari pita valensi ke pita konduksi ini disebut energi terlarang (*energy gap*). Jika sebuah ikatan kovalen terputus, maka akan terjadi kekosongan atau lubang (*hole*). Pada daerah dimana terjadi kekosongan akan terdapat kelebihan muatan positif, dan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Kedua muatan inilah yang memberikan kontribusi adanya aliran listrik pada semikonduktor murni. Jika elektron valensi dari ikatan kovalen yang lain mengisi lubang tersebut, maka akan terjadi lubang baru di tempat yang lain dan seolah-olah sebuah muatan positif bergerak dari lubang yang lama ke lubang baru. (Sutrisno, 2011 : 53)



Gambar 2.2 Struktur kristal silikon memperlihatkan adanya sebuah ikatan kovalen yang terputus (Sutrisno, 2011 : 55)



Gambar 2.3 Diagram pita energi menunjukkan tereksitasinya elektron ke pita konduksi dan meninggalkan lubang di pita valensi (Sutrisno, 2011 : 55)

Tabel 2.1 Properti Dasar Silikon dan Germanium Pada Suhu 300 K

Properti	Silikon	Germanium
Energi terlarang/gap (eV)	1,1	0,67
Mobilitas elektron, μ_n ($m^2V^{-1}s^{-1}$)	0,135	0,39
Mobilitas lubang, μ_p ($m^2V^{-1}s^{-1}$)	0,048	0,19
Konsentrasi intrinsik, n_i (m^{-3})	$1,5 \times 10^{16}$	$2,4 \times 10^{19}$
Resistivitas intrinsik, ρ_i (Ωm)	2300	0,46

Sumber : Sutrisno , 2011 : 56

2.1.2 Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang prosesnya melalui proses pendopingan atau pengotoran bahan atom tertentu pada bahan semikonduktor untuk menaikkan daya hantar semikonduktor. Terbentuk dari semikonduktor murni yang dikotori oleh atom doping sebagai penghasil elektron konduksi atau hole. Terdapat dua tipe: Tipe – N (Silikon + Phospor atau Arsenic) dan Tipe – P (Silikon + Boron, Galium atau Indium). Semikonduktor ekstrinsik terbentuk melalui mekanisme **doping**, yang dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen sehingga diharapkan akan dapat menghantarkan listrik. Mekanisme ini dilakukan dengan jalan memberikan atom pengotor ke bahan semikonduktor murni sehingga apabila atom pengotor memiliki kelebihan elektron valensi (valensi 5) akan terdapat elektron bebas yang dapat berpindah. Karena mengandung atom-atom pengotor, pembawa muatan didominasi oleh elektron saja atau lubang saja. Apabila semikonduktor murni diberikan pengotor dengan valensi kurang (valensi 3) maka akan terbentuk area kosong (hole) yang menjadi pembawa muatan. Mekanisme ini menentukan jenis semikonduktor yang dibentuk (tipe – N atau tipe – P).

Kita dapat memasukkan pengotor berupa atom-atom dari golongan IIIA atau VA dalam tabel periodik (memberi doping) ke dalam silikon atau germanium murni. Elemen semikonduktor beserta atom pengotor yang biasa digunakan diperlihatkan pada tabel 2.2.

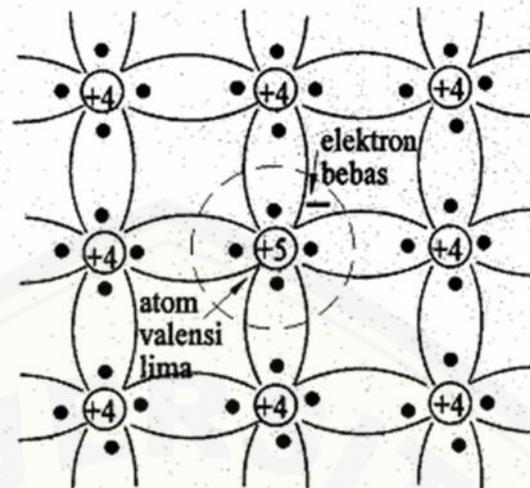
Tabel 2.2 Elemen semikonduktor pada tabel periodik.

KOLOM III		KOLOM IV		KOLOM V	
5	B BORON 10,82	6	C CARBON 12,01	7	N NITROGEN 14,008
13	Al ALUMINUM 26,97	14	Si SILICON 28,09	15	P PHOSPHORUS 31,02
31	Ga GALLIUM 69,72	32	Ge GERMANIUM 72,60	33	As ARSENIC 74,91
49	In INDIUM 114,8	50	Sn TIN 118,7	51	Sb ANTIMONY 121,8

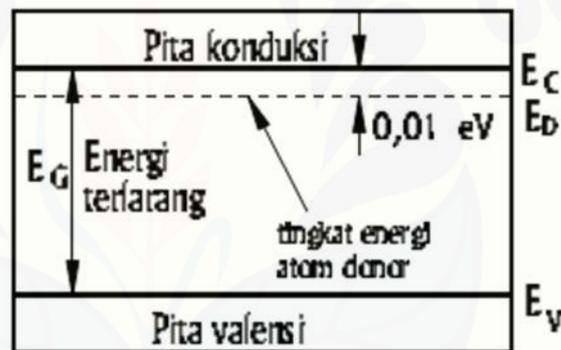
Sumber: Sutrisno, 2011 : 57

a. Semikonduktor tipe-n

Semikonduktor tipe-*n* dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor pentavalen (*antimony, phosphorus atau arsenic*) pada silikon murni dan Germanium. Atom-atom pengotor (dopan) ini mempunyai lima elektron valensi sehingga secara efektif memiliki muatan sebesar $+5q$. Saat sebuah atom pentavalen menempati posisi atom silikon dalam kisi kristal, hanya empat elektron valensi yang dapat membentuk ikatan kovalen lengkap, dan tersisa sebuah elektron yang tidak berpasangan (lihat gambar 2.4). Dengan adanya energi thermal yang kecil saja, sisa elektron ini akan menjadi elektron bebas dan siap menjadi pembawa muatan dalam proses hantaran listrik. Material yang dihasilkan dari proses pengotoran ini disebut semikonduktor tipe-*n* karena menghasilkan pembawa muatan negatif dari kristal yang netral. Karena atom pengotor memberikan elektron, maka atom pengotor ini disebut sebagai atom donor. Secara skematik semikonduktor tipe-*n* digambarkan seperti terlihat pada gambar 2.5



Gambar 2.4 Struktur kristal silikon dengan sebuah atom pengotor valensi lima menggantikan posisi salah satu atom silikon (Sutrisno, 2011 : 58)

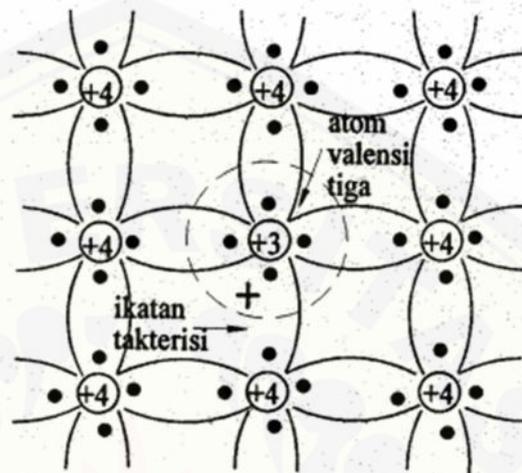


Gambar 2.5 Struktur pita energi semikonduktor tipe-*n*, perhatikan letak tingkat energi atom donor (Sutrisno, 2011 : 58)

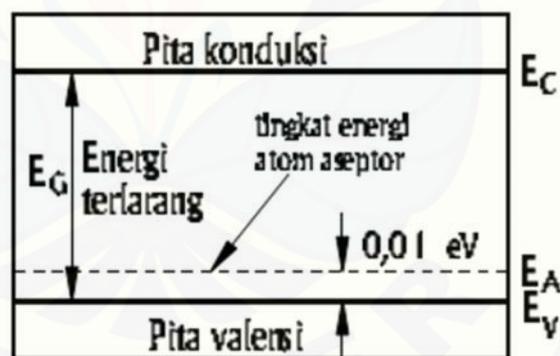
b. Semikonduktor tipe-*p*

Semikonduktor tipe-*n* dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor atom trivalen (aluminium, boron, galium atau indium) pada semikonduktor murni, misalnya silikon murni dan Germanium. Atom-atom pengotor (dopan) ini mempunyai tiga elektron valensi sehingga secara efektif hanya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Saat sebuah atom trivalen menempati posisi atom silikon dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap, dan tersisa sebuah muatan negatif dari yang tidak berpasangan (lihat gambar 2.6) yang disebut lubang (*hole*).

Material yang dihasilkan dari proses pengotoran ini disebut semikonduktor tipe-*p*. Karena atom pengotor menerima elektron, maka atom pengotor ini disebut sebagai atom aseptor (*acceptor*). Secara skematik semikonduktor tipe-*p* digambarkan seperti terlihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Struktur kristal silikon dengan sebuah atom pengotor valensi tiga menggantikan posisi salah satu atom silikon (Sutrisno, 2011 : 59)



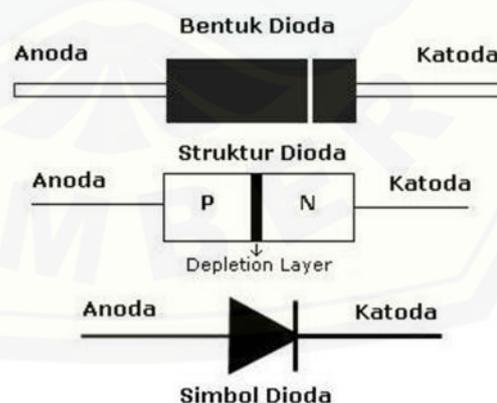
Gambar 2.7 Struktur pita energi semikonduktor tipe-*p*, perhatikan letak tingkat energi atom aseptor. (Sutrisno, 2011 : 59)

2.2 Dioda Sambungan p-n

Dioda merupakan komponen semikonduktor yang paling sederhana. Kata dioda berasal dari pendekatan kata yaitu dua elektroda yang mana (di berarti dua) mempunyai dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Dioda adalah piranti elektronik yang hanya dapat melewatkan

arus/tegangan dalam satu arah saja, dimana dioda merupakan jenis vacuum tube yang memiliki dua buah elektroda (terminal). Karena itu, dioda dapat dimanfaatkan sebagai penyearah arus listrik, yaitu piranti elektronik yang mengubah arus atau tegangan bolak-balik (AC) menjadi arus atau tegangan searah (DC). Dioda jenis vacuum tube pertama kali diciptakan oleh seorang ilmuwan dari Inggris yang bernama Sir J.A. Fleming pada tahun 1904.

Dioda terbentuk dari bahan semikonduktor tipe P dan N yang digabungkan. Dengan demikian dioda sering disebut *P-N junction*. Dioda adalah gabungan bahan semikonduktor tipe N yang merupakan bahan dengan kelebihan elektron dan tipe P adalah kekurangan satu elektron sehingga membentuk *Hole*. *Hole* dalam hal ini berfungsi sebagai pembawa muatan. Apabila kutub P pada dioda (anoda) dihubungkan dengan kutub positif sumber maka akan terjadi pengaliran arus listrik dimana elektron bebas pada sisi N (katoda) akan berpindah mengisi *hole* sehingga terjadi pengaliran arus. Sebaliknya apabila sisi P dihubungkan dengan negatif baterai/sumber, maka elektron akan berpindah ke arah terminal positif sumber. Didalam dioda tidak akan terjadi perpindahan elektron. (Ricard Blocher, 2003: 162-163)



Gambar 2.8 Simbol Dioda (Agus Irawan,2002 : 54)

Sisi Positif (P) disebut Anoda dan sisi Negatif (N) disebut Katoda. Lambang dioda seperti anak panah yang arahnya dari sisi P ke sisi N.

Karenanya ini mengingatkan kita pada arus konvensional dimana arus mudah mengalir dari sisi P ke sisi N. Hampir semua peralatan elektronika memerlukan sumber arus searah. Penyearah digunakan untuk mendapatkan arus searah dari suatu arus bolak-balik. Arus atau tegangan tersebut harus benar-benar rata tidak boleh berdenyut-denyut agar tidak menimbulkan gangguan bagi peralatan yang dicatu.

Dioda hanya dapat melewati arus pada satu arah saja, yaitu pada saat dioda memperoleh arus arah/bias maju (*forward bias*). Karena di dalam dioda terdapat *junction* (pertemuan) dimana daerah semikonduktor type-p dan semikonduktor type-n bertemu. Pada kondisi ini dioda dikatakan bahwa dioda dalam keadaan konduksi atau menghantar dan mempunyai tahanan dalam dioda relatif kecil. Sedangkan bila dioda diberi arus arah/bias mundur (*Reverse bias*) maka dioda tidak bekerja dan pada kondisi ini dioda mempunyai tahanan dalam yang tinggi sehingga arus sulit mengalir. Apabila dioda silikon dialiri arus AC, maka yang mengalir hanya satu arah saja sehingga arus output dioda berupa arus DC. Dari kondisi tersebut maka dioda hanya digunakan pada beberapa pemakaian saja antara lain sebagai penyearah setengah gelombang (*Half Wave Rectifier*), penyearah gelombang penuh (*Full Wave Rectifier*), rangkaian pemotong (*Clipper*), rangkaian penjepit (*Clamper*) maupun pengganda tegangan (*Voltage Multiplier*). (Ricard Blocher, 2003: 165-168)

Dioda sebagai salah satu komponen aktif sangat populer digunakan dalam rangkaian elektronika, karena bentuknya sederhana dan penggunaannya sangat luas. Ada beberapa macam rangkaian dioda, diantaranya : penyearah setengah gelombang (*Half-Wave Rectifier*), penyearah gelombang penuh (*Full-Wave Rectifier*), rangkaian pemotong (*Clipper*), rangkaian penjepit (*Clamper*) maupun pengganda tegangan (*Voltage Multiplier*).

Dioda termasuk komponen elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor. Beranjak dari penemuan dioda, para ahli menemukan juga komponen turunan lainnya yang unik. Dioda memiliki fungsi yang unik

yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Struktur dioda tidak lain adalah sambungan semikonduktor P dan N. Satu sisi adalah semikonduktor dengan tipe P dan satu sisinya yang lain adalah tipe N. Dengan struktur demikian arus hanya akan dapat mengalir dari sisi P menuju sisi N.

2.3 LED (*Light Emitting Diode*)

Semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatis yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. Pada penggunaan untuk keperluan komersial LED banyak digunakan sebagai lampu *indicator incandescent* dan neon serta *display seven segment* pada perangkat laboratorium dan kemudian digunakan pada TV, Radio, Telepone, kalkulator, dan juga penunjuk waktu. Pada dasarnya Dioda LED adalah dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor yang mempunyai kemampuan untuk memancarkan cahaya. Adapun bahan LED yang sering digunakan adalah *Gallium, Arsenic dan phosphorus*. Pengembangan LED dimulai dengan alat inframerah dan merah dibuat dengan *gallium arsenide*. Perkembangan dalam ilmu material telah memungkinkan produksi alat dengan panjang gelombang yang lebih pendek, menghasilkan cahaya dengan warna bervariasi.

LED konvensional terbuat dari mineral anorganik yang bervariasi, menghasilkan warna sebagai berikut:

- a. *Aluminium Gallium Arsenide (AlGaAs)* – merah dan inframerah
- b. *Gallium Aluminium Phosphide* – hijau
- c. *Gallium Arsenide/Phosphide (GaAsP)* – merah, oranye-merah, oranye, dan kuning
- d. *Gallium Nitride (GaN)* – hijau, hijau murni (atau hijau emerald), dan biru
- e. *Gallium Phosphide (GaP)* – merah, kuning, dan hijau
- f. *Zinc Selenide (ZnSe)* – biru
- g. *Indium Gallium Nitride (InGaN)* – hijau kebiruan dan biru

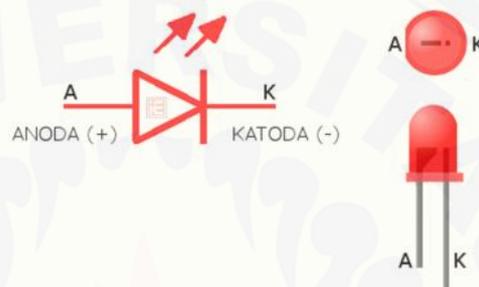
- h. *Indium Gallium Aluminium Phosphide* – oranye-merah, oranye, kuning, dan hijau
- i. *Silicon Carbide (SiC)* – biru
- j. *Diamond (C)* – ultraviolet
- k. *Silicon (Si)* – biru (dalam pengembangan)
- l. *Sapphire (Al₂O₃)* – biru
(m.wikipedia.org/wiki/diode_pancaran_cahaya, 2014)

Energi cahaya tersusun atas sejumlah besar paket-paket energi yang disebut foton. Dalam sebuah atom, elektron bergerak dalam orbit-orbit yang mengitari inti atom. Elektron yang bergerak pada orbit yang berbeda akan memiliki energi yang berbeda pula. Secara umum, elektron yang memiliki energi yang lebih tinggi akan berada pada orbit yang lebih jauh dari inti atom. Elektron dalam atom dapat berpindah dari satu orbit ke orbit yang lain. Jika elektron akan berpindah ke tingkat orbit yang memiliki energi yang lebih tinggi, maka elektron harus dipasok dengan sejumlah energi tertentu sehingga energi yang dimilikinya sama dengan energi orbit baru yang akan ditematinya. Sebaliknya, jika elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih rendah, maka elektron akan melepaskan sebagian energinya menyesuaikan dengan energi orbit yang ditujunya.

Pada diode elektron yang bergerak melintasi persambungan dapat jatuh ke dalam lubang kosong yang banyak terdapat pada daerah tipe-P. Peristiwa jatuhnya elektron ke dalam lubang ini setara dengan elektron yang berpindah dari pita konduksi ke pita konduksi sehingga dalam proses ini elektron akan melepaskan energi. Peristiwa seperti ini terjadi pada semua jenis *diode*. Namun demikian, energi dalam bentuk cahaya tampak hanya akan terlihat pada jenis *diode LED*.

LED menggunakan bahan semikonduktor yang memiliki jarak antara Anoda dan Katoda dimana Kedua kutub ini dapat menyebabkan frekuensi foton yang dipancarkan bersesuaian dengan frekuensi gelombang cahaya tampak tergantung dari jenis bahan semikonduktor yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antara Anoda dan Katoda yang dipengaruhi jenis bahan merupakan faktor yang menentukan

warna cahaya yang dipancarkan oleh LED dengan istilah celah pita. Dengan mengatur-atur celah pita dapat menentukan jenis warna yang dapat dipancarkan oleh LED. Namun demikian harus diperhatikan bahwa celah pita ini berkaitan dengan jenis bahan semikonduktor yang digunakan dalam LED. Artinya, LED yang memancarkan warna cahaya tertentu akan memiliki komposisi bahan semikonduktor yang berbeda dengan LED yang memancarkan warna cahaya yang berbeda.



Gambar 2.9 Penampakan LED Simbol Dioda (Agus Irawan,2002 : 67)

Tegangan kerja / jatuh pada sebuah LED menurut warna yang dihasilkan adalah sebagai berikut

- a. Infra merah : 1,6 V
- b. Merah : 1,8 V – 2,1 V
- c. Oranye : 2,2 V
- d. Kuning : 2,4 V
- e. Hijau : 2,6 V
- f. Biru : 3,0 V – 3,5 V
- g. Putih : 3,0 – 3,6 V
- h. Ultraviolet : 3,5 V

Untuk arus yang mengalir pada LED antara 10 mA – 20 mA, melebihi batasan tersebut LED akan terbakar.Keuntungan dari penggunaan LED adalah :

- a. Efisiensi daya yang tinggi , karena LED bekerja denga arus dan tegangan yang kecil.
- b. Banyak pilihan warna, tidak perlu filter warna untuk membuat warna seperti metoda pencahayaan konvensional, sehingga mengurangi biaya.

- c. Ukuran LED bias sangat kecil sehingga bias langsung di pasang pada board atau PCB.
- d. Waktu *on / off* yang sangat cepat (*microsecond*) sehingga dapat digunakan pada peralatan yang membutuhkan respon cepat, misal peralatan komunikasi, remote control dll.
- e. Memiliki umur yang panjang (35.000 s.d 50.000 jam)
- f. Tahan Guncangan dibandingkan lampu konvensional
- g. Pancaran cahaya yang lebih fokus.

Kekurangan LED :

- a. Harga mahal untuk saat ini, sehingga masih digunakan pada hal hal tertentu saja.
- b. Sangat terpengaruh temperature (suhu)
- c. Sensitif terhadap tegangan, dimana tegangan dan arus yang bekerja pada LED harus sesuai dengan tipe LED tersebut.
- d. Penyebaran cahaya kurang
- e. Pemasanganya harus memperhatikan polarisasi + dan – dari sumber tegangan.

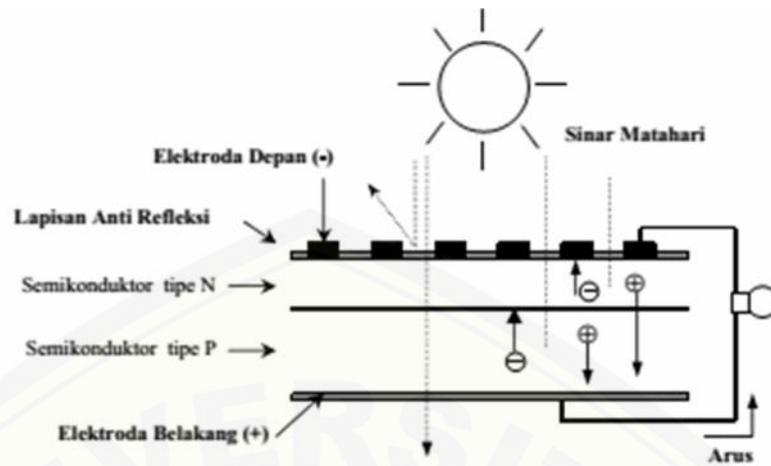
Aplikasi penggunaan LED :

- a. Lampu Indikator,
- b. Layar Monitor
- c. Sensor Jarak Jauh (Arifianto, 2011:301-302).

Dioda dibuat dari bahan germanium. unsur logam bernama Germanium dalam transistor ini berbahaya bagi lingkungan apabila sudah tidak terpakai lagi. Unsur ini memiliki dampak negatif apabila terakumulasi dalam sistem perairan, namun Germanium mempunyai kemampuan menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik (Purnama, 2011: Kompas.com).

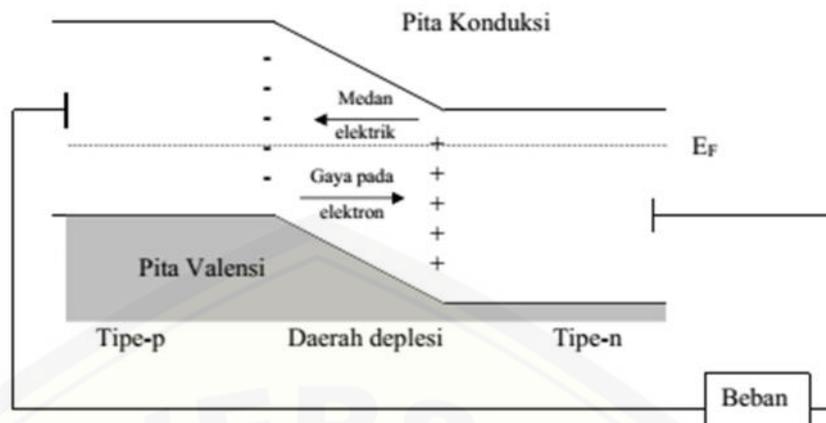
2.4 Sel Surya

Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.10



Gambar 2.10 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya (Budi Yuwono, 2005: 6)

Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerap (*absorber*), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari. Lebih detail lagi bisa dijelaskan bahwa semikonduktor adalah bahan yang memiliki struktur seperti isolator akan tetapi memiliki celah energi kecil (1 eV atau kurang) sehingga memungkinkan elektron bisa melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron dari pita konduksi dapat meloncat ke pita valensi ketika sambungan tersebut dikenai photon dengan energi tertentu. Tingkat energi yang dihasilkan.



Gambar 2.11 Tingkat energi yang dihasilkan oleh sambungan p-n semikonduktor surya (Budi Yuwono, 2005: 7)

Ketika sinar matahari yang terdiri dari photon-photon jatuh pada permukaan bahan sel surya (*absorber*), akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan begitu saja seperti terlihat pada gambar 2.11 dan hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Tingkat energi ini disebut energi *band-gap* yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Elektron menjadi pembawa n dan meninggalkan *hole*. Pembawa p akan bergerak menuju persambungan demikian juga pembawa n akan bergerak ke persambungan, perpindahan tersebut menghasilkan beda potensial. Arus dan daya yang dihasilkan fotovoltaiik ini dapat dialirkan ke rangkaian luar. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton (hc) harus sedikit lebih besar/diatas daripada energi *band-gap*. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi *band-gap*, maka ekstra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada sel surya. Karenanya sangatlah penting pada sel surya untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul dari semikonduktor yang dipergunakan. Agar efisiensi sel surya bisa tinggi maka foton yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak-banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan rekombinasi

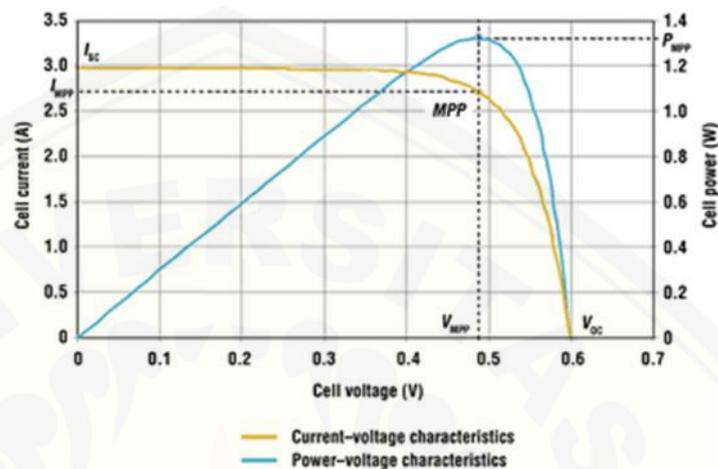
serta memperbesar konduktivitas dari bahannya. Agar foton bisa diserap sebanyak-banyaknya, maka penyerap harus memiliki energi *band-gap* dengan jangkauan yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam tersebut. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah CuInSe₂ yang dikenal merupakan salah satu dari *direct semiconductor* (Rusminto, 2003).

Untuk mendapatkan keluaran yang besar maka perlu penggabungan dari beberapa sel surya yang disebut dengan modul sel surya. Pada modul, sel surya dihubungkan secara seri atau parallel untuk menghasilkan tegangan, arus, atau daya yang tinggi. Permukaan modul ditutup dengan kaca atau materi transparan lain untuk proteksi terhadap lingkungan. (Budi Yuwono, 2005: 7)

2.4.1 Karakteristik Sel Surya

Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek”, “arus rangkaian pendek” atau *ISC (short circuit current)*, yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. Nilai *ISC* naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25⁰C. Jika arus sel surya sama dengan nol, sel surya tersebut digambarkan sebagai “rangkaiannya terbuka”. Tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka”, *Voc (open circuit voltage)*. Ketergantungan *Voc* terhadap irradiansi bersifat logaritmis, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur melebihi kecepatan kenaikan *Isc*. Oleh karena itu, daya maksimum sel surya dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur. Pada kebanyakan sel surya, peningkatan temperatur dari 25⁰C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%. Sel surya menghasilkan daya maksimumnya pada tegangan

tertentu. Gambar 2.12 menunjukkan tegangan arus dan karakteristik tegangan-harga. Gambar ini juga menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik daya maksimum yang disebut MPP (*Maximum Power Point*).



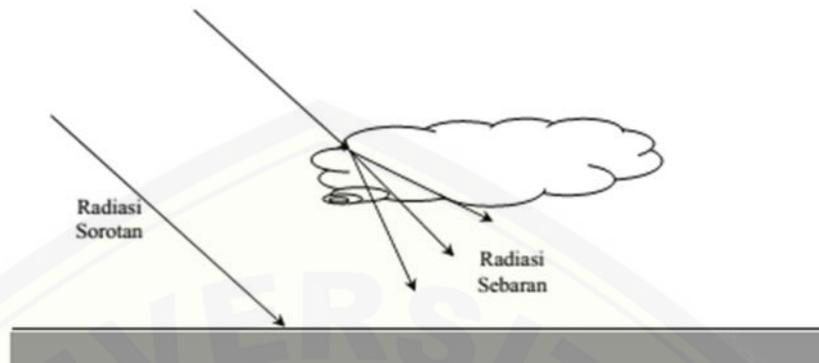
Gambar 2.12 Grafik arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan sebagai karakteristik sel surya (Quashning, 2004)

Tegangan titik daya maksimum atau $VMPP$ biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya, $IMPP$ lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek. Pada titik daya maksimum (MPP), arus dan tegangan memiliki hubungan yang sama dengan irradiansi dan temperatur sebagaimana arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka.

2.4.2 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

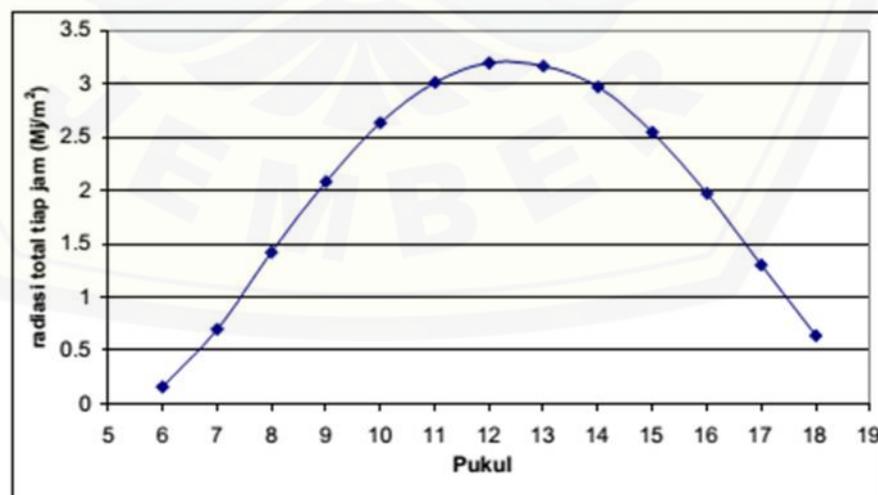
Radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 (Budi Yuwono, 2005: 11) dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjanggelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer

sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran seperti terlihat pada gambar 2.13. (Jansen,1995)



Gambar 2.13 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi (Budi Yuwono, 2005: 11)

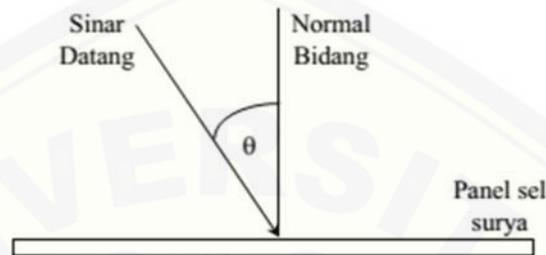
Dengan adanya faktor-faktor diatas menyebabkan radiasi yang diterima permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda setiap saat. Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 2.14. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. 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 2.14 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi (Jansen, 1995)

2.4.3 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 2.15 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang (Budi Yuwono,2005: 22)

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 seperti gambar 2.15 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor \cos (Jansen,,1995)

$$I_r = I_{r_0} \cos \theta \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan

I_r : Radiasi yang diserap panel

I_{r_0} : Radiasi yang mengenai panel

θ : Sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel

2.5 Pencahayaan

Pencahayaan merupakan salah satu faktor untuk mendapatkan keadaan lingkungan yang aman dan nyaman dan berkaitan erat dengan produktivitas manusia. Pencahayaan yang baik memungkinkan orang dapat melihat objek-objek yang dikerjakannya secara jelas dan cepat.

Menurut sumbernya, pencahayaan dapat dibagi menjadi :

2.5.1 Pencahayaan alami

Pencahayaan alami adalah sumber pencahayaan yang berasal dari sinar matahari. Sinar alami mempunyai banyak keuntungan, selain menghemat energi listrik juga dapat membunuh kuman. Untuk mendapatkan pencahayaan alami pada suatu ruang diperlukan jendela-jendela yang besar ataupun dinding kaca sekurang-kurangnya 1/6 daripada luas lantai.

Sumber pencahayaan alami kadang dirasa kurang efektif dibanding dengan penggunaan pencahayaan buatan, selain karena intensitas cahaya yang tidak tetap, sumber alami menghasilkan panas terutama saat siang hari. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan agar penggunaan sinar alami mendapat keuntungan, yaitu:

- a. Variasi intensitas cahaya matahari
- b. Distribusi dari terangnya cahaya
- c. Efek dari lokasi, pemantulan cahaya, jarak antar bangunan
- d. Letak geografis dan kegunaan bangunan gedung

2.5.2 Pencahayaan buatan

Pencahayaan buatan adalah pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya selain cahaya alami. Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami atau saat pencahayaan alami tidak mencukupi. Fungsi pokok pencahayaan buatan baik yang diterapkan secara tersendiri maupun yang dikombinasikan dengan pencahayaan alami adalah sebagai berikut:

- a. Menciptakan lingkungan yang memungkinkan penghuni melihat secara detail serta terlaksananya tugas serta kegiatan visual secara mudah dan tepat
- b. Memungkinkan penghuni berjalan dan bergerak secara mudah dan aman

- c. Tidak menimbulkan penambahan suhu udara yang berlebihan pada tempat kerja
- d. Memberikan pencahayaan dengan intensitas yang tetap menyebar secara merata, tidak berkedip, tidak menyilaukan, dan tidak menimbulkan bayang-bayang.
- e. Meningkatkan lingkungan visual yang nyaman dan meningkatkan prestasi. (Sutanto, 1999: 25)

2.6 Hukum Ohm

Diantara dua titik yang berbeda tegangan (diusahakan beda tegangan konstan) dihubungkan dengan kawat penghantar maka arus akan mengalir dari arah positif ke arah negatif. Apabila beda tegangan dinaikan dua kali lipat, ternyata arus yang mengalir juga naik dua kali lipat. Jadi, arus yang mengalir melalui kawat penghantar akan sebanding dengan tegangan yang terdapat antara kedua ujung penghantar. Percobaan ini dilakukan oleh Ohm yang selanjutnya disebut hukum Ohm. Oleh karena itu dirumuskan:

$$\frac{V}{I} = R \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

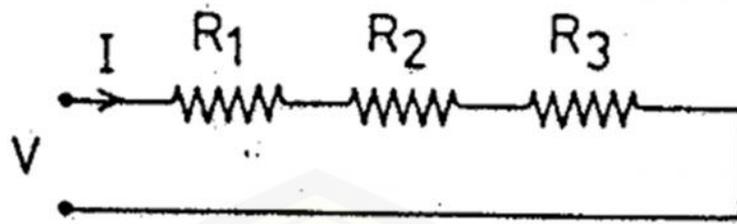
V : Tegangan dalam Volt (V)

I : Arus dalam ampere (A)

R : Resistansi / tahanan dalam ohm (Ω)

2.6.1 Resistor dalam Rangkaian Seri dan Paralel

Rangkaian seri adalah apabila beberapa resistor dihubungkan secara berturut-turut, yaitu ujung akhir dari resistor pertama disambung dengan ujung awal dari resistor kedua, dan seterusnya. Jika ujung awal dari resistor pertama dan ujung akhir resistor terakhir diberikan tegangan, maka arus akan mengalir berturut-turut melalui semua resistor yang besarnya sama.



Gambar 2.16 Rangkaian Seri pada resistor (Sutrisno,2011 : 8)

pada rangkaian seri semua resistor teraliri arus yang sama. Jika arus yang mengalir sebesar I maka :

$$V = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3) \dots\dots\dots 2.3$$

$$\frac{V}{I} = (R_1 + R_2 + R_3) \dots\dots\dots 2.4$$

$$R_T = (R_1 + R_2 + R_3) \dots\dots\dots 2.5$$

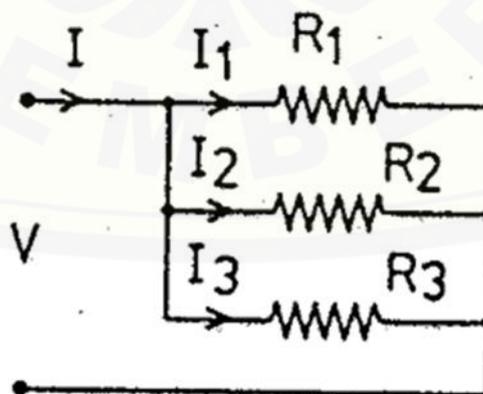
Keterangan

V : Tegangan dalam Volt (V)

I : Arus dalam ampere (A)

R_T : Resistansi / tahanan dalam ohm Total ()

Pada rangkaian seri semua resistor memiliki tegangan yang sama. Jika arus yang mengalir sebesar I maka :



Gambar 2.17 Rangkaian paralle pada resistor (Sutrisno,2011 : 8)

Pada rangkaian paralel (gambar 2.3-b), nampak bahwa masing-masing resistor mendapat tegangan yang sama

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \dots\dots\dots 2.6$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} \dots\dots\dots 2.7$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} \dots\dots\dots 2.8$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \dots\dots\dots 2.9$$

$$\frac{V}{R} = I_1 + I_2 + I_3 \dots\dots\dots 2.10$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \dots\dots\dots 2.11$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots 2.12$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots 2.13$$

Keterangan :

V : Tegangan dalam Volt (V)

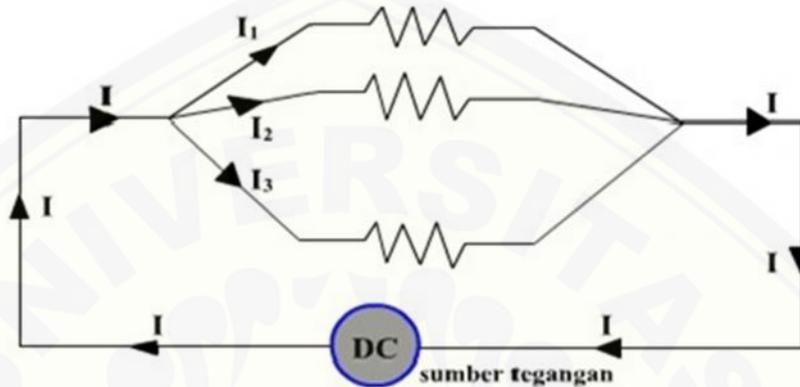
I : Arus dalam ampere (A)

R_T : Resistansi / tahanan dalam ohm Total ()

2.6.2 Hukum I Kirchoff

Hukum Kirchoff I berbunyi “jumlah aljabar dari arus yang menuju/masuk dengan arus yang meninggalkan/keluar pada satu titik sambungan/cabang sama dengan nol”. Hukum I Kirchoff merupakan hukum kekekalan muatan listrik yang menyatakan bahwa jumlah muatan

listrik yang ada pada sebuah sistem tertutup adalah tetap. Hal ini berarti dalam suatu rangkaian bercabang, jumlah kuat arus listrik yang masuk pada suatu percabangan sama dengan jumlah kuat arus listrik yang ke luar percabangan itu. Untuk lebih jelasnya tentang Hukum I Kirchoff, perhatikanlah rangkaian berikut ini:



Gambar 2.18 Rangkaian Jumlah arus (Sutrisno,2011 : 9)

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \dots \dots \dots 2.14$$

2.6.3 Hukum II Kirchoff

Hukum Kirchoff II ini berbunyi “di dalam satu rangkaian listrik tertutup jumlah aljabar antara sumber tegangan dengan kerugian-kerugian tegangan selalu sama dengan nol.” Hukum II Kirchoff adalah hukum kekekalan energi yang diterapkan dalam suatu rangkaian tertutup. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah aljabar dari GGL (Gaya Gerak Listrik) sumber beda potensial dalam sebuah rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol. Secara matematis, Hukum II Kirchoff ini dirumuskan dengan persamaan

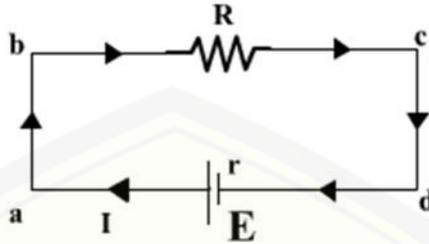
$$\sum E + \sum V = 0 \dots \dots \dots 2.15$$

Keterangan :

V: Beda Potensial komponen komponen dalam rangkaian (volt)

E : GGL sumber (volt)

Untuk lebih jelasnya mengenai Hukum II Kirchoff, perhatikanlah sebuah rangkaian tertutup sederhana berikut ini



Gambar 2.18 Rangkaian Tertutup (Sutrisno,2011 : 9)

Dari rangkaian sederhana di atas, maka akan berlaku persamaan berikut (anggap arah loop searah arah arus)

$$(I \cdot R + I \cdot r) - E = 0 \dots\dots\dots 2.16$$

$$I(R + r) = E \dots\dots\dots 2.17$$

$$I = \frac{E}{(R + r)} \dots\dots\dots 2.18$$

atau

$$I \cdot R = E - I \cdot r \dots\dots\dots 2.19$$

Keterangan

I : Arus listrik dalam Rangkaian (Ampere)

R : Arus dalam ampere (A)

R : Resistansi / tahanan dalam ohm Total ()

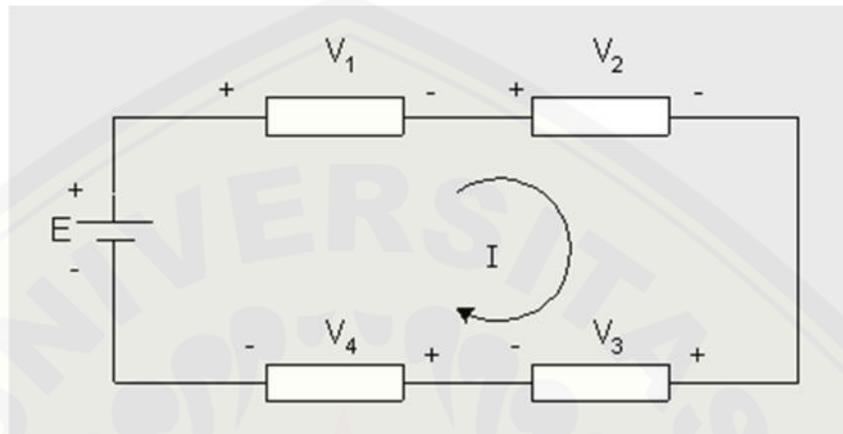
r : Resistansi dalam / tahanan dalam GGL ohm Total ()

E : GGL (volt)

I.R : Tegangan Jepit (Volt)

2.6.4 Hukum Kirchhoff Tegangan

Hukum ini menyebutkan bahwa di dalam suatu lup tertutup maka jumlah sumber tegangan serta tegangan jatuh adalah nol.



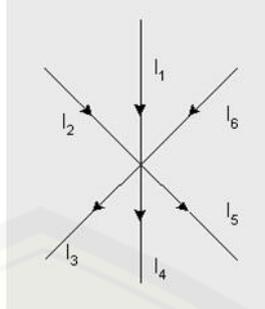
Gambar 2.19 Contoh suatu ikal tertutup dari rangkaian listrik arus (Sutrisno,2011 : 11)

Seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.19 di atas, rangkaian ini terdiri dari sumber tegangan dan empat buah komponen. Jika sumber tegangan dijumlah dengan tegangan jatuh pada keempat komponen, maka hasilnya adalah nol, seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 - E = 0 \dots\dots\dots 2.20$$

2.6.5 Hukum Kirchhoff Arus

Hukum Kirchhoff arus menyebutkan bahwa dalam suatu simpul percabangan, maka jumlah arus listrik yang menuju simpul percabangan dan yang meninggalkan percabangan adalah nol.

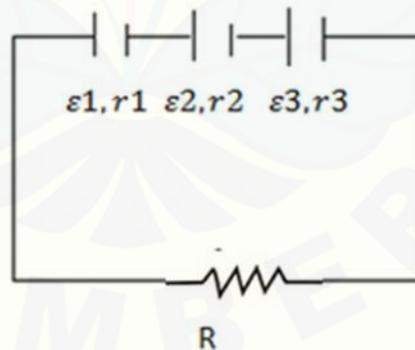


Gambar 2.20 Percabangan arus listrik dalam suatu simpul (Sutrisno,2011 : 12)

Gambar 2.20 adalah contoh percabangan arus listrik dalam suatu simpul. Dalam Gambar 2, terdapat tiga komponen arus yang menuju simpul dan tiga komponen arus yang meninggalkan simpul. Jika keenam komponen arus ini dijumlahkan maka hasilnya adalah nol, seperti diperlihatkan dalam persamaan berikut.

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 - I_6 = 0 \dots\dots\dots 2.21$$

2.6.6 Susunan seri sumber tegangan



Gambar 2.2 Rangkaian Susunan seri sumber tegangan (Sutrisno,2011 : 14)

Untuk n buah sumber tegangan yang dihubungkan secara seri, maka sumber tegangan pengganti akan memiliki ggl seri sebesar $V_s = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n$ dan hambatan dalam pengganti seri sebesar $r_s = r_1 + r_2 + r_3 \dots + r_n$ kasus umum yang sering dijumpai adalah n buah

sumber tegangan sejenis dengan ggl dan hambatan r yang disusun secara seri sehingga sumber tegangan pengganti akan memiliki ggl seri sebesar :

$$V_s = nV \dots\dots\dots 2.22$$

dan hambatan dalam pengganti seri sebesar :

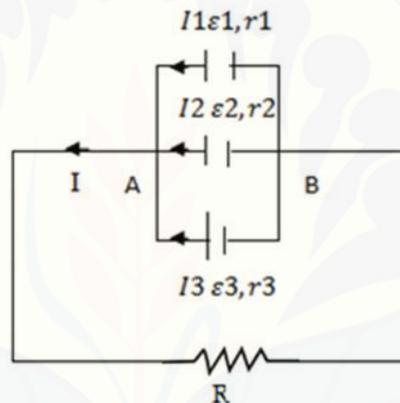
$$r_s = nr \dots\dots\dots 2.23$$

Faktor n merupakan jumlah baterai yang disusun seri.

Besar arus adalah :

$$I = \frac{nV}{R + nr} \dots\dots\dots 2.24$$

2.6.7 Susunan paralel sumber tegangan



Gambar 2.22 Rangkaian Susunan paralel sumber tegangan (Sutrisno,2011 : 15)

Untuk n buah sumber tegangan yang dihubungkan secara paralel, akan mempunyai sumber tegangan jepit yang sama sehingga berlaku:

$$V_1 = V_2 = V_3 = I \cdot R \dots\dots\dots 2.25$$

$$V_1 - I_1 \cdot r_1 = V_2 - I_2 \cdot r_2 = V_3 - I_3 \cdot r_3 = \dots = V_n - I_n \cdot r_n = (I_1 + I_2 + I_3 \dots I_n)R \dots 2.26$$

Hambatan dalam pengganti untuk sumber tegangan yang disusun secara paralel memenuhi hubungan dan hambatan dalam pengganti paralel sebesar :

$$r_p = \frac{r}{n} \dots\dots\dots 2.27$$

Faktor n menyatakan baterai yang diparalel. Kasus umum yang di jumpai adalah n buah sumber tegangan sejenis dengan ggl dan hambataan dalam r yang disusun secara paralel sehingga sumber tegangan pengganti akan memiliki ggl paralel sebesar :

$$V_p = V \dots\dots\dots 2.28$$

Besarnya arus adalah :

$$I = \frac{V}{(R + r)} \dots\dots\dots 2.30$$

2.7 LED (*Light Emitting Diode*) Sebagai Sel Surya Sederhana

LED merupakan keluarga dari Dioda yang terbuat dari Semikonduktor. Cara kerjanya pun hampir sama dengan Dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub Positif (P) dan Kutub Negatif (N). LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias forward) dari Anoda menuju ke Katoda. Semikonduktor jenis P maupun N, jika mendapat energi dari luar, partikel-partikel semikonduktor dan ion-ion pengotor akan bergerak dengan cepat sehingga jika energinya cukup besar akan memungkinkan adanya konduksi.

Apabila dioda semikonduktor dikenai cahaya pada sambungannya akan dapat membangkitkan pemikul muatan terkecil secara ekstern, sehingga arus balik bertambah besar. Elemen ini dapat diterapkan pada deteksi cahaya dan sekaligus sebagai pengubah energi cahaya menjadi energi listrik (O.G Brink, dalam Subekti, 1992:20).

Besarnya Pergerakan elektron dan *Hole* pada sambungan P-N adalah dengan cara meningkatkan intensitas penyinaran sehingga elektron memiliki energi vibrasi yang lebih besar. Penyinaran sambungan P-N dengan radiasi Cahaya langsung mengakibatkan terjadinya konversi energi listrik. Apabila sel silikon terkena sinar matahari, maka foton-foton yang

mendarat sekitar sambungan P-N akan menghasilkan pasangan-pasangan elektron dan lubang. Elektron akan cenderung untuk berjalan ke arah silikon tipe N, sedangkan lubang akan cenderung untuk berjalan ke daerah tipe P. Besarnya arus listrik yang diperoleh tergantung besarnya energi cahaya yang mencapai sel-sel silikon, dan tergantung juga dari luas permukaan sel (Yushardi, 1997: 27).

LED merupakan jenis Semikonduktor P-N. Apabila bahan semikonduktor tersebut dikenai cahaya maka akan menghasilkan energi listrik. Cahaya yang jatuh pada Sambungan P-N menghasilkan elektron yang bermuatan negatif dan “hole” yang bermuatan positif. Elektron dan “hole” mengalir membentuk arus listrik (Handini, W. 2009).

Sel surya merupakan sebuah piranti yang mampu mengubah secara langsung energi cahaya menjadi energi listrik. Proses perubahan energi ini terjadi melalui efek fotolistrik. Efek fotolistrik adalah peristiwa terpentalnya sejumlah elektron pada permukaan sebuah logam ketika disinari seberkas cahaya (Krane, 1992). Gejala efek fotolistrik dapat diterangkan melalui teori kuantum Einstein. Menurut teori kuantum Einstein, cahaya dipandang sebagai sebuah paket energi (foton) yang besar energinya bergantung pada frekuensi cahaya. Pada sel surya energi foton akan diserap oleh elektron sehingga elektron akan terpelempar keluar menghasilkan arus dan tegangan listrik dan dalam hukum kirchoff II “Didalam suatu rangkaian tertutup jumlah aljabar gaya gerak listrik dengan penurunan tegangan sama dengan nol” . Sambungan seri memiliki keuntungan tegangan menjadi lebih besar. (Handini, W. 2009)

Menurut Beisser Arthur (dalam Hidayat, 2013:3), gelombang elektromagnet yang terlihat oleh panca indera manusia adalah cahaya dengan panjang gelombang berkisar pada 300 - 700 nm (nanometer). Gelombang dengan panjang gelombang di atas 700 nm berada pada daerah inframerah dan dibawah 300 nm merupakan daerah ultraviolet. Cahaya merupakan kumpulan foton yang mempunyai energi. Perambatan cahaya

di ruang bebas dilakukan oleh gelombang elektromagnetik dengan kecepatan 3×10^8 m/detik.

Suatu sumber cahaya memancarkan cahaya ke semua arah, tetapi energi radiasinya tidak merata karena dipengaruhi oleh sudut penerangan, walaupun perubahannya tidak terlalu signifikan. Jumlah energi radiasi yang dipancarkan sebagai cahaya ke suatu arah tertentu disebut intensitas cahaya (I) dengan satuan candela (cd). Jika intensitas cahaya suatu sumber sebesar 1 cd melalui sudut ruang sebesar 1 steradian, maka akan mengalir fluks cahaya sebesar 1 lumen. Hal ini dinyatakan dengan:

$$I = \frac{W}{S} \dots\dots\dots 2.31$$

keterangan :

I : Intensitas cahaya (cd)

w : Fluks cahaya (lumen)

S : Sudut ruang (strd)

Intensitas penerangan (iluminasi) di suatu bidang ialah fluks cahaya yang jatuh pada 1 m^2 dari bidang tersebut, dengan satuan lux. Jika suatu bidang diterangi F lumen seluas $A \text{ m}^2$, maka:

$$\bar{E} = \frac{W}{A} \dots\dots\dots 2.32$$

keterangan :

\bar{E} : Intensitas penerangan rata-rata (lux)

A : Luas bidang yang diterangi (m^2) (Hidayat, 2013:3).

Luminasi adalah jumlah cahaya yang dipantulkan atau diteruskan oleh suatu objek. Permukaan yang lebih gelap akan memantulkan cahaya lebih sedikit daripada permukaan yang lebih terang, sehingga dibutuhkan iluminasi yang lebih besar pada permukaan yang lebih gelap untuk menghasilkan Luminasi yang sama dengan permukaan yang lebih terang.

$$E = \frac{I}{r^2} \dots\dots\dots 2.32$$

keterangan :

E : Luminasi (cd/m^2)

I : Intensitas cahaya (cd)

r : jarak (m^2) (Kurnia, 2010: 20)

Intensitas radiasi Cahaya yaitu besar kecilnya sudut datang sinar matahari pada permukaan benda. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang .Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan benda yang lebih jauh daripada sinar dengan sudut datang yang tegak lurus (Wikipedia. http://id.m.wikipedia.org/wiki/Radiasi_Matahari). Besarnya energi listrik yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya yang diterima. Intensitas cahaya yang diterima secara tegak lurus oleh LED akan menghasilkan energi listrik yang maksimal. Apabila intensitas cahaya yang diterima tidak tegak lurus, maka energi listrik yang dihasilkan akan lebih kecil karena radiasi yang diterima lebih kecil .

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai: 1) Jenis penelitian, 2) Tempat dan Waktu Penelitian, 3) Definisi Operasional, 4) Alat dan Bahan Penelitian, 5) Desain Alat Penelitian, 6) Alur Penelitian, 7) Langkah Penelitian, 8) Teknik Penyajian Data 9) Teknik Analisis Data.

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian *eksperimen*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap Daya yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari Dioda jenis LED (Light Emitting Diode).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada semester ganjil tahun ajaran 2015/2016.

3.3 Definisi Operasional

Untuk menghindari perbedaan persepsi dan penafsiran yang kesalahan dalam penelitian ini, maka diperlukan adanya definisi operasional variabel. Adapun pengertian dari variabel-variabel tersebut, antara lain:

a. Sel Surya Sederhana

Sel surya adalah proses perancangan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sel Surya Sederhana Adalah Sel surya yang menggunakan Energi cahaya dalam jumlah kecil untuk menghasilkan Tegangan Listrik.

b. LED (*Light Emitting Diode*)

Pada dasarnya Dioda LED adalah dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor yang mempunyai kemampuan untuk memancarkan cahaya. LED yang digunakan adalah LED warna putih.

c. Nilai Lux

Di dapat dari alat ukur yakni Lux Meter Saat dipaparkan ke sinar matahari langsung.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan penelitian yang digunakan untuk meneliti pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari LED adalah :

a. Dioda Jenis LED sebanyak 10 biji warna Putih

b. Luxmeter

Spesifikasi:

1. Merk : DEKKO
2. Tipe / jenis : LX 1010 BS
3. Range pengukuran : 0-100.000 Lux
4. Nilai maksimum *display* : 1999

c. *Project Board*

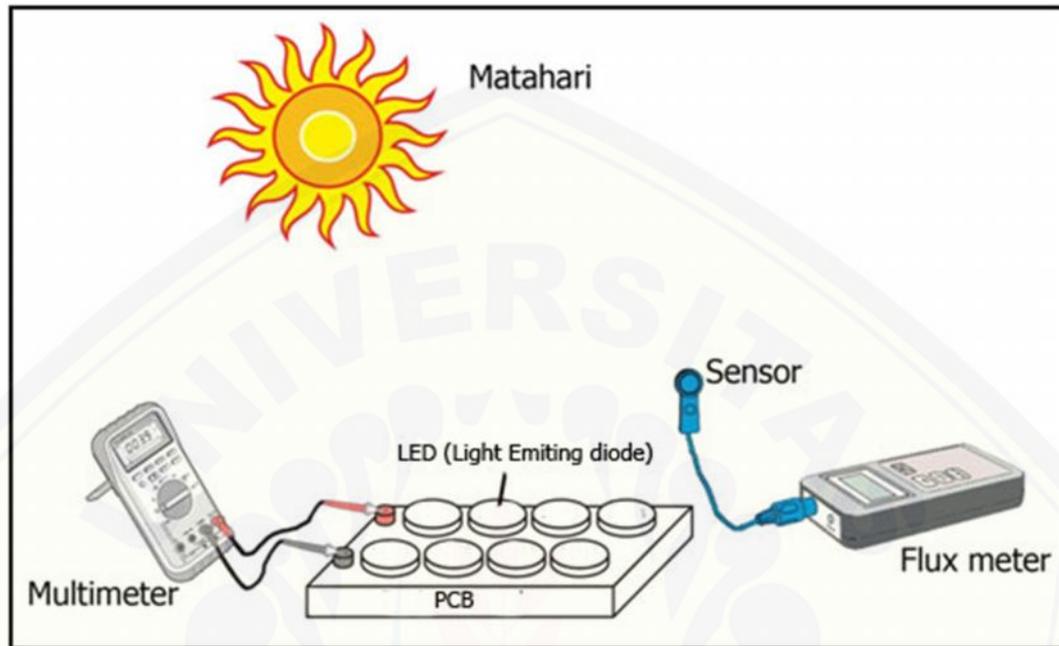
d. Multimeter

e. Kabel penghubung/ konektor

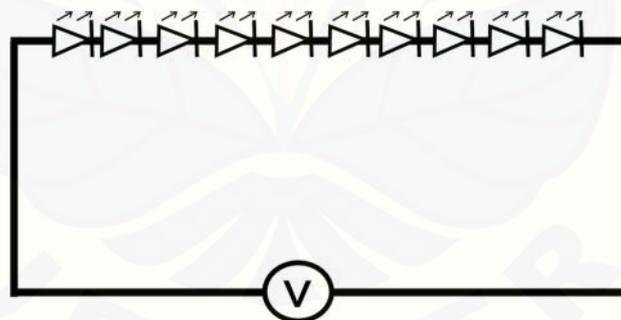
f. Jam

3.5 Desain Alat Penelitian

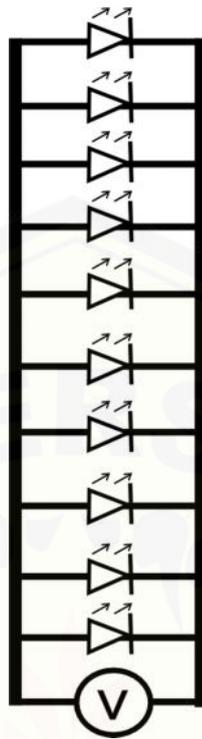
Desain penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



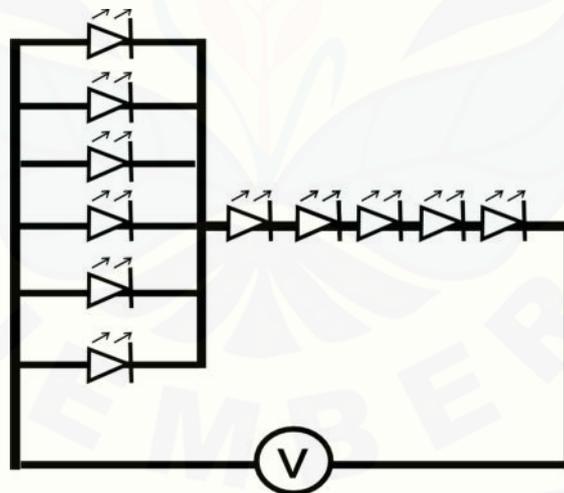
Gambar 3.1 Rangkaian Sel surya



Gambar 3.2 Rangkaian (seri) Sel surya



Gambar 3.3 Rangkaian (parallel) Sel surya



Gambar 3.4 Rangkaian (seri-parallel) Sel surya

3.6 Alur Penelitian

Penelitian ini mempunyai alur sebagai berikut:



Gambar 3.2 Bagan Alur Penelitian

3.7 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mempersiapkan alat dan bahan

Alat dan bahan yang telah disebutkan sebelumnya disediakan. alat dan bahan yang digunakan harus sudah dalam kondisi sebagai berikut:

1. Luxmeter telah terkalibrasi dan tampilan angka dilayar dalam keadaan jelas.
2. Multimeter dalam keadaan normal dan terkalibrasi.

3. LED disusun secara seri-paralel sebagai berikut:
 - a) 10 seri
 - b) 5 seri x 5 paralel
 - c) 10 paralel
4. Kabel penghubung/konektor secukupnya.
5. *Project board* dalam keadaan tersusun rapi.
6. Jam
- b. Merangkai alat dan bahan
Menyusun set alat percobaan seperti pada gambar 3.2, 3.3 dan 3.4
- c. Penelitian
Adapun proses penelitian dijelaskan sebagai berikut:
 - 1) Meletakkan rangkaian sel surya LED di tempat yang bebas terkena sinar Matahari langsung dengan waktu penelitian pada pukul (08.00, 09.00, 10.00, 11.00 dan 12.00) WIB waktu Kot Jember .
 - 2) Meletakkan luxmeter disamping rangkaian sel surya LED (*Light Emitting Diode*).
 - 3) Mengukur tegangan, iluminasi dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh Luminasi terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan.
 - 4) Mencatat nilai tegangan, iluminasi pada tabel penyajian data.
- d. Mencatat hasil pengukuran pada tabel pengamatan data
Data yang didapatkan antara lain:
 - 1) Iluminansi (Intensitas Pencahayaan) dalam satuan lux diperoleh dari penerangan sinar matahari yang diukur menggunakan *Luxmeter*.
 - 2) tegangan (V) yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan Multimeter.
- e. Melakukan percobaan diatas pada masing-masing rangkaian dengan 1 kali pengukuran.
- f. Menghitung nilai Lux
Data Iluminansi yang telah didapat sebelumnya, diolah sehingga menghasilkan nilai intensitas cahaya dalam satuan candela.

g. Analisis data

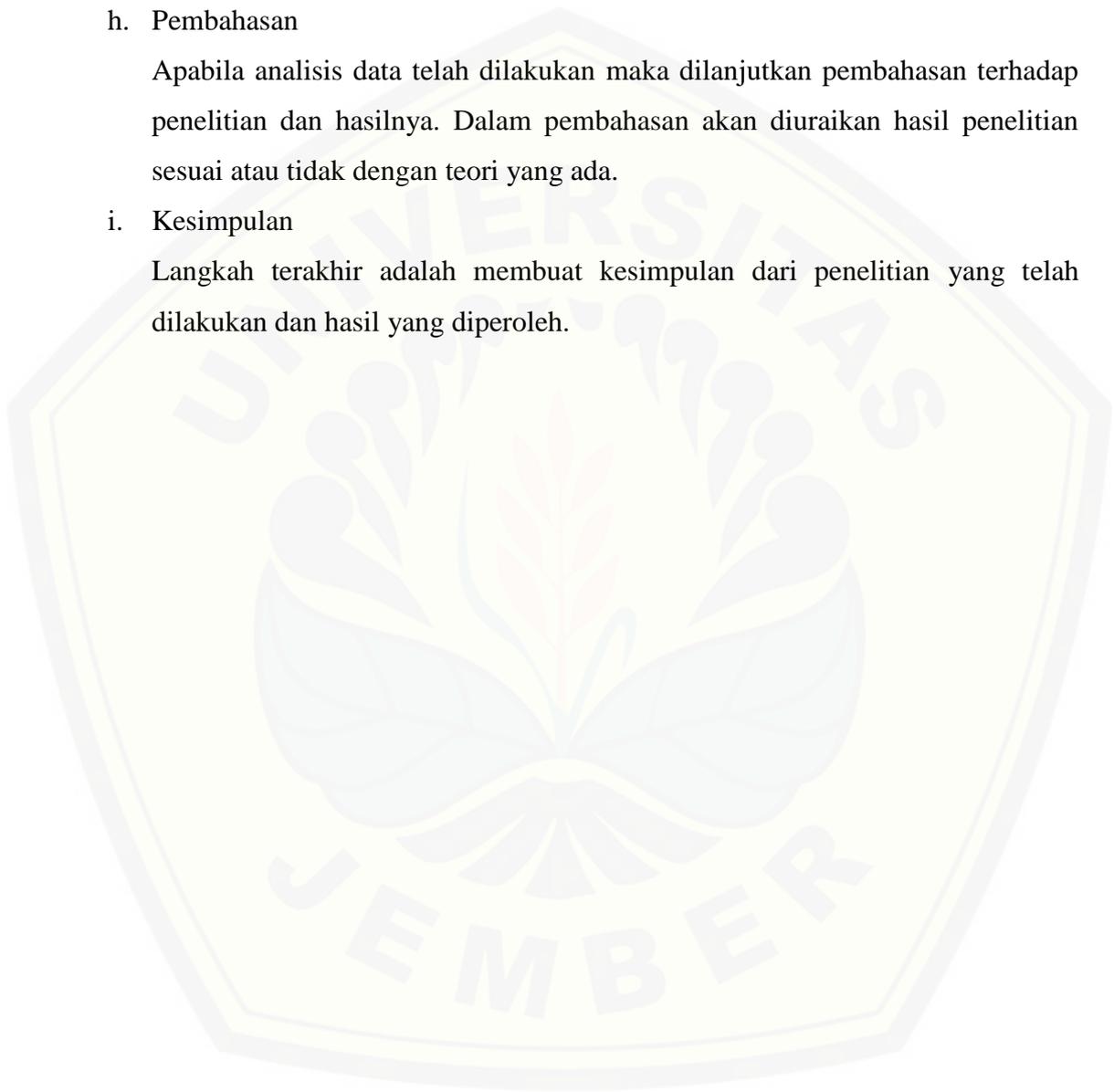
Data yang telah disusun dalam tabel akan diolah dan dianalisis berdasarkan teori apakah terdapat pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari LED.

h. Pembahasan

Apabila analisis data telah dilakukan maka dilanjutkan pembahasan terhadap penelitian dan hasilnya. Dalam pembahasan akan diuraikan hasil penelitian sesuai atau tidak dengan teori yang ada.

i. Kesimpulan

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh.



3.8 Teknik Penyajian Data

Data yang diperoleh dari eksperimen akan ditabulasikan dalam table sebagai berikut: Tabel 3.1 Tabel penyajian data untuk pengaruh Illuminasi cahaya tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari Diode jenis LED (*Light Emiting Diode*)

No	Rangkaian LED	Waktu	Illuminasi (Lux)	Tegangan (mV)
1	Seri	07.00		
		08.00		
		09.00		
		10.00		
		11.00		
		12.00		
2	paralel	07.00		
		08.00		
		09.00		
		10.00		
		11.00		
		12.00		
3	seri-paralel	07.00		
		08.00		
		09.00		
		10.00		
		11.00		
		12.00		

BAB 5. PENUTUP

Bab penutup berisi kesimpulan dan saran. Pada bab ini akan dijelaskan kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan permasalahan penelitian dan saran bagi pembaca skripsi.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data yang diperoleh, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Ada hubungan antara Rangkaian (seri, parallel dan seri-paralel) Sel Surya Sederhana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*) Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan. Bentuk rancangan sel surya mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Rangkaian 10 seri menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 1450 mV, rangkaian 5 seri x 5 paralel menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 1188 mV dan rangkaian 10 paralel menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 98 mV dikarenakan pada Rangkaian seri mengalami penguatan tegangan sedangkan rangkaian yang lain tidak mengalami penguatan tegangan.
- b. Ada hubungan Nilai Lux Terhadap Tegangan yang dihasilkan Rangkaian Sel Surya Sederhana Berbasis LED (*Light Emiting Diode*). Semakin tinggi Nilai Lux yang mengenai LED (*Light Emiting Diode*) maka tegangan yang dihasilkan semakin besar pula, hal ini terjadi apabila mengalami perubahan nilai illuminasi yang berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari yang mengakibatkan foton yang mengenai ambungan PN pada panel sel surya.

5.2 Saran

Untuk mengetahui keefektifan sel surya dengan menggunakan dioda jenis LED lebih maksimal disarankan untuk:

- a. Melakukan penelitian pada waktu musim kemarau, sehingga data yang didapat lebih maksimal dan tidak terganggu oleh cuaca yang mendung ataupun hujan.

- b. Gunakan LED (*Light Emitting Diode*) yang tahan terhadap suhu tinggi .
- c. Menggunakan dioda jenis LED yang memiliki bahan semikonduktornya baik supaya hasil keluaran tegangan dan arus listriknya besar.



DAFTAR BACAAN**Buku**

- Anonim. 2011. Semikonduktor Tipe P dan Tipe N. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/semiconductor-tipe-p-dan-tipe-n/>. Diakses pada tanggal 28 April 2015
- Anonim. 2009. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-8609-2107202001-BAB%20I.pdf>). Diakses pada tanggal 3 April 2015
- Anonim. 2012. Elektronika Dasar. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/meningkatkan-kemampuan-transistor/>. Diakses pada tanggal 12 Desember 2015
- Arifianto, D. 2011. *Kamus Komponen Elektronika*. Jakarta: PT Kawan Pustaka
- Handini, W. 2009. *Performa Sel Surya...*.Depok: Universitas Indonesia
- Hidayat, T. R. 2013. *Rancang Bangun Optimasi Sel Surya Menggunakan Transistor 2n3055 Bekas Berbasis Atmega 16*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Irawan, A. 2002. *Komponen Dioda pada Rangkaian*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknik
- Kurnia, C. T. 2010. *Instalasi Cahaya*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Malvino, A. P. 2003. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknik
- Margunadi, A. R. 1986. *Pengantar Umum Elektronika*. Jakarta: PT Dian Rakyat
- Millman, Jacob dan Christos C. Hilkias. 1993. *Elektronika Terpadu Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Purnama, T. 2011. "Charger" Ponsel dari Bekas Transistor Jengkol. <http://tekno.kompas.com/read/2011/05/26/1934521/Charger.Ponsel.dari.Bekas.Transistor.Jengkol>. Diakses pada tanggal 12 Mei 2014.
- Ricard, Blocher,2003. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknik
- Shahab, R. M. 2010. *Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station (BTS) GSM*. Depok: Universitas Indonesia

- Sigalingging, K. 1994. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Bandung: Penerbit Tarsito
- Subekti, A. 1992. *Karakteristik Transistor 2N3055 Sebagai Alat Ukur Intensitas Cahaya dan Solar Sel*. Jember: Universitas Jember
- Sutrisno, 2011. *Elektronika Teori dan Penerapannya*. Bandung:ITB
- _____.1999. *Diktat Kuliah Sel Surya*. Jember: Universitas Jember
- Wenzig, U. 2012. *Modul Pembelajaran Hemat Energi*. Jakarta: GIZ - German International Cooperation
- Wikipedia. 2014. Cahaya. <http://id.wikipedia.org/wiki/Cahaya>. Diakses pada tanggal 09 Mei 2014
- Wikipedia. 2012. Radiasi Matahari. [http://id.m.wikipedia.org/wiki/Radiasi Matahari](http://id.m.wikipedia.org/wiki/Radiasi_Matahari). Diakses pada tanggal 12 Desember 2015
- William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly., dan Steven M. Durbin. 2005. *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Yushardi. 1997. *Analisis Pengaruh Kualitas Radiasi Global Terhadap Efisiensi Modul Sel Surya*. Jember: Universitas Jember
- Yuwono, B. 2005. *Perancangan Sistem Penjernihan air dengan Sel Surya*. Sriwijaya: Universitas Sriwijaya.

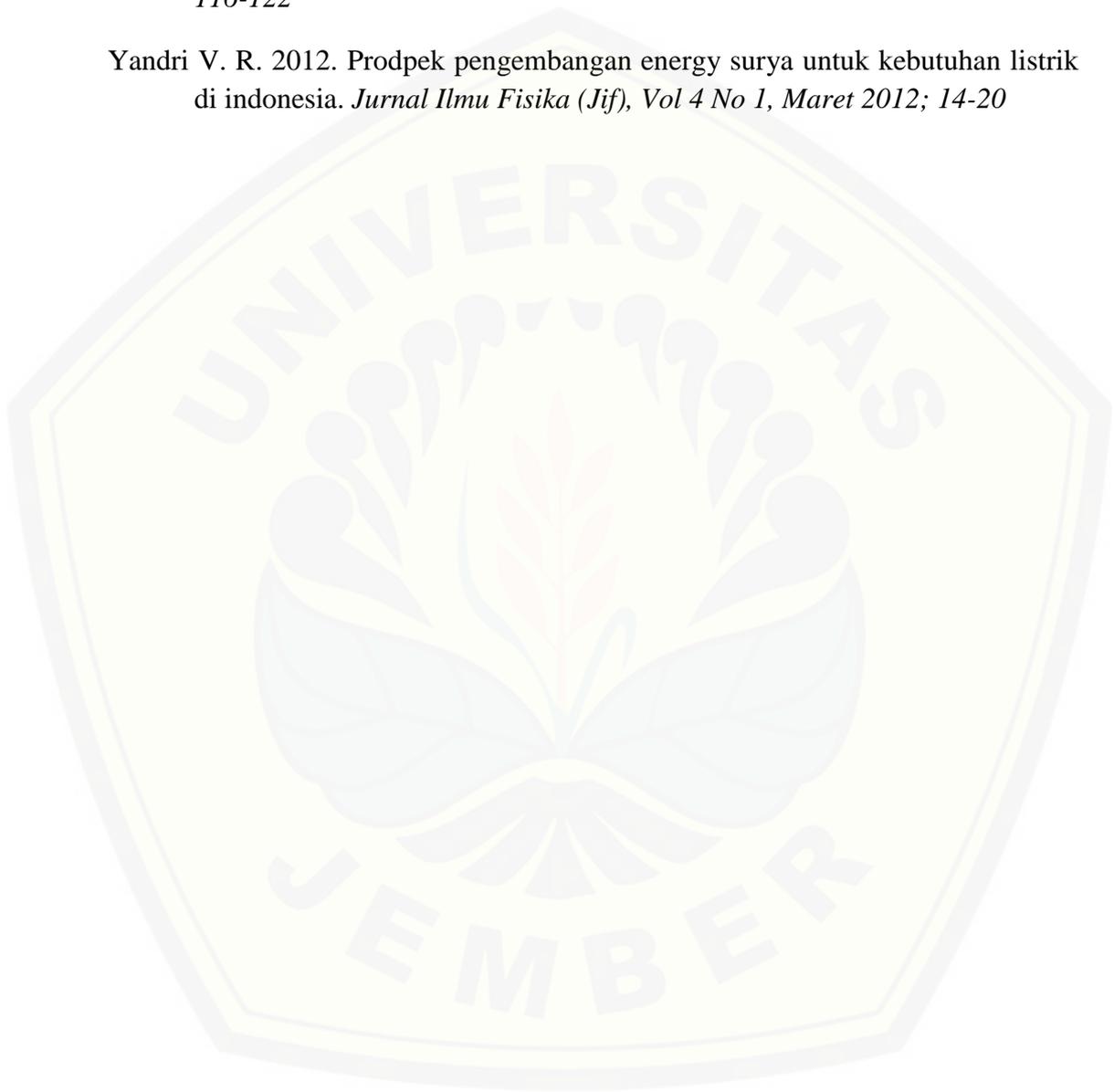
Jurnal

- Asyari, H. dkk 2014. Intensitas cahaya terhadap daya keluaran panel sel surya . *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012*. ISSN : 1412-9612; E52-E57
- Handini, W. 2009. *Performa Sel Surya*.Depok: Universitas Indonesia
- Muchamad dan Setiawan S. 2012. Prototipe controller lampu penerangan LED (Light Emitting Diode) independent bertenaga surya. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011*
- Mulyani, O. dan Astuti. 2014. Sintesis sel surya pewarna (SSTP) ekstrak antosianin buah delima (punica granatum) dengan metode sol-gel-spin-coating, *Jurnal Fisika Unand Vol. 3, No. 2, April 2014 ISSN 2302-8491; 84-89*

Istichoroh, N. 2013. Simulasi karakteristik diode dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0. *Jurnal Fisika. Vol 02 No 01 Tahun 2013, 01 - 06*

Suhardi, D. 2013. Prototipe controller lampu penerangan LED (Light Emitting Diode) independent bertenaga surya. *Jurnal Gamma, ISSN 2086-3071; 116-122*

Yandri V. R. 2012. Prospek pengembangan energy surya untuk kebutuhan listrik di indonesia. *Jurnal Ilmu Fisika (Jif), Vol 4 No 1, Maret 2012; 14-20*



LAMPIRAN A. MATRIKS PENELITIAN

Nama : Ahmad Ruslan Abdul A

Nim : 090210102044

Judul	Permasalahan	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
Penggunaan Dioda Jenis LED (<i>Light Emiting Diode</i>) Pada Pembuatan Sel Surya Sederhana Berbasis Bahan Semikonduktor	<p>a. Bagaimanakah hubungan antara Rangkaian (seri, paralel dan seri-paralel) Sel Surya Sederhahana Berbasis LED (<i>Light Emiting Diode</i>) Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan ?</p> <p>b. Bagaimana hubungan Nilai Illuminasi Terhadap Tegangan (mV) yang dihasilkan Rangkaian Sel Surya Sederhahana Berbasis LED (<i>Light Emiting Diode</i>) ?</p>	<p>1. Variabel bebas: Rangkaian LED (<i>Light Emiting Diode</i>) dan nilai Illuminasi</p> <p>2. Variabel terikat: - Tegangan yang dihasilkan</p>	<p>1.Pembuatan Sel surya Sederhana dengan menggunakan LED</p> <p>2.Rangkain Disusun 3 tipe yakni seri, seri-paralel dan paralel</p> <p>3.Tegangan yang di hasilkan ketik di paparkan di Cahaya matahari</p>	1. Hasil Ekperimen	<p>1. Daerah penelitian: Laboratorium Fisika FKIP Universitas Jember</p> <p>2. Jenis penelitian: Eksperimen</p> <p>3. Metode Pengumpulan data: - Observasi - Dokumentasi</p> <p>4. Analisis Data</p> <p>a. Menghitung rata-rata Illuminasi: $\bar{E} = \frac{\sum \text{Illuminasi}}{n}$</p> <p>b. Menghitung rata-rata Tegangan Listrik: $\bar{V} = \frac{\sum \text{Tegangan}}{n}$</p> <p>c. Menghitung kesalahan mutlak Tegangan (<i>V</i>):</p> <p>1. Kesalahan mutlak $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum (V - \bar{V})^2}{n-1}}$</p> <p>2. Kesalahan relatif</p>

Judul	Permasalahan	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
					<p> $\left(\frac{\Delta V}{\bar{V}} \right) \times 100\%$ 3. Keseksamaan = 100% – kesalahan relatif (V) 4. $H_p = \{ \bar{V} \pm \Delta V \}$ </p> <p> d. Menghitung kesalahan mutlak Iluminasi (E): 1. Kesalahan mutlak $\Delta E = \sqrt{\frac{\sum (E - \bar{E})^2}{n-1}}$ 2. Kesalahan relatif $(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\%$ 3. Keseksamaan = 100% – kesalahan relatif (E) 4. $H_p = \{ \bar{E} \pm \Delta E \}$ </p>