



**RANCANG BANGUN SEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN
TRANSISTOR TIPE 2N3055**

SKRIPSI

Oleh

**Daris Hari Murti
NIM100210102088**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**RANCANG BANGUN SEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN
TRANSISTOR TIPE 2N3055**

SKRIPSI

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

Oleh

**Daris Hari Murti
NIM 100210102088**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibu tercinta Yuni Rusmiyati, Bapak Timbul, dan Adikku Ivan Priyambudi, yang senantiasa memberikan motivasi, restu dan do'a disetiap langkahku untuk selalu menjadi yang terbaik;
2. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
3. Almamaterku Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

“Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan: “Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan menambah (ni’mat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (ni’mat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih”.

*(Q.S. Ibrahim ayat 7)**

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah.”

**) Departemen Agama Republik Indonesia.2000. Al Qur’an dan Terjemahannya. Semarang: CV Asy-Syifa’.*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Daris Hari Murti

NIM : 100210102088

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggukan Transistor Tipe 2N3055” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta 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, Juni 2015

Yang menyatakan,

Daris Hari Murti

NIM 100210102088

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN
TRANSISTOR TIPE 2N3055**

Oleh

Daris Hari Murti
NIM 100210102088

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Bambang Supriadi, M.Sc

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggunakan Transistor Tipe 2N3055 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

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

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

Anggota I,

Anggota II,

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

Dr. Yushardi, S.Si., M.Si.
NIP. 19650420199512 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
UniversitasJember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd
NIP. 19540501 198303 1 005

RINGKASAN

Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggunakan Transistor Tipe 2N3055; Daris Hari Murti; 100210102088; 48 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Menurut letak astronomisnya, Indonesia berada di antara 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT. Berdasarkan letak astronomi tersebut Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa membelah bumi menjadi dua bagian, yaitu belahan bumi utara dan belahan bumi selatan. Berdasarkan letak lintangnya Indonesia memiliki iklim tropis dengan ciri-ciri antara lain memiliki hutan hujan tropis yang luas, menerima penyinaran matahari sepanjang tahun, memiliki curah hujan tinggi, dan sebagainya (Widayati, Sri. 2014: www.g-excess.com). Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa memperoleh sinar matahari rata-rata 10 jam/hari memiliki potensi energi surya yang cukup besar.

Sumber energi terbagi menjadi dua kelompok yaitu dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Energi yang dapat diperbarui merupakan sumber energi yang dengan mudah dapat diciptakan kembali. Energi yang tidak dapat diperbarui adalah sumber energi yang terpakai habis dan tidak dapat diciptakan kembali. Energi surya merupakan salah satu energi yang dapat diperbarui. Energi surya jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia dalam waktu yang lebih lama. Energi surya ini dalam penggunaannya dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik (fotovoltaik). Sel fotovoltaik adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Sistem sel fotovoltaik pada dasarnya terdiri dari *pn junction* (Handini, 2009: 1).

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor 2N3055 merupakan NPN transistor daya. Kelebihan transistor 2N3055 ini sering digunakan pada rangkaian-rangkaian

elektronika, misalnya sebagai inverter, rangkaian power supply, rangkaian switching kecepatan tinggi, dan sebagainya.

Berdasarkan fakta dan hasil penelitian di atas, maka penelitian ini diberi judul "Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggunakan Transistor Tipe 2N3055". Penelitian yang akan dilakukan mengenai sambungan pn pada transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya dengan memperhatikan waktu penyinaran dan rangkaian seri paralel. Waktu penyinaran sel surya dilakukan mulai dari pukul 09.00 WIB – 15.00 WIB dengan pengambilan data setiap 1 jam sekali. Rangkaian transistor sebagai sel surya dengan jumlah 12 buah transistor.

Penelitian ini bertujuan mengkaji bagaimana pengaruh intensitas cahaya dan bentuk rancangan sel surya dengan menggunakan transistor tipe 2N3055 terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan. Jenis penelitian ini adalah metode eksperimen dengan variabel bebas intensitas cahaya. Pengukuran intensitas pencahayaan menggunakan luxmeter serta arus dan tegangan tegangan yang dihasilkan dari penyinaran matahari terhadap transistor 2N3055 diukur menggunakan multimeter.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangkaian yang menghasilkan beda potensial paling tinggi adalah rangkaian 12 seri. Sambungan seri memiliki keuntungan tegangan menjadi lebih besar namun arus listrik yang dihasilkan kecil. Sedangkan rangkaian yang menghasilkan beda potensial paling rendah adalah rangkaian 12 paralel, namun rangkaian ini menghasilkan arus listrik yang paling besar.

Beda potensial maksimal yang didapat pada penelitian ini adalah sebesar 3,82 V yaitu pada saat intensitas cahaya 0,418 cd. Arus listrik maksimal yang dihasilkan adalah 0,26 mA yaitu pada saat intensitas 4,18 cd. Kenaikan intensitas cahaya yang datang pada transistor 2N3055 menyebabkan semakin banyak elektron bebas pada bahan transistor tersebut sehingga semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh transistor 2N3055 akan menghasilkan tegangan dan arus listrik yang lebih besar pula.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat-Nya dan syafaat dari Rasulullah Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggukakan Transistor Tipe 2N3055”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di 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 ucapan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ibu Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Bapak Drs. Bambang Supriadi, M.Sc dan Ibu Rif'ati Dina Handayani, S.Pd, selaku Dosen Pembimbing Skripsi;
4. Bapak Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si dan Bapak Dr. Yushardi, M.Si, selaku Dosen Penguji;
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan studi di Pendidikan Fisika;
6. Angke Latifa Dinar Suwandi selaku teman terdekat yang banyak memberikan bantuan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini;
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2010 yang telah menjadi keluargaku di Jember serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Jember, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Cahaya	6
2.1.1 Sifat Cahaya	6
2.1.2 Intensitas Cahaya.....	7
2.2 Semikonduktor	9
2.2.1 Germanium.....	9
2.2.2 Semikonduktor Jenis P dan N	9

2.2.3 Sambungan P-N.....	10
2.3 Transistor	11
2.3.1 Transistor 2N3055	13
2.3.1 Meningkatkan Kemampuan Transistor.....	15
2.4 Sel Surya	17
2.4.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	18
2.4.2 Karakteristik Sel Surya	20
2.4.3 Transistor 2N3055 Sebagai Sel Surya	21
2.5 Hukum Kirchoff.....	23
2.5.1 Hukum I Kirchoff.....	23
2.5.2 Hukum II Kirchoff.....	24
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Jenis Penelitian	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Definisi Operasional	27
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.5 Desain Alat Penelitian	29
3.6 Alur Penelitian.....	30
3.7 Langkah Penelitian	30
3.8 Teknik Penyajian Data.....	33
3.6 Teknik Analisis Data	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Hasil dan Pembahasan	38
4.2 Pembahasan	43
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47

DAFTAR TABEL

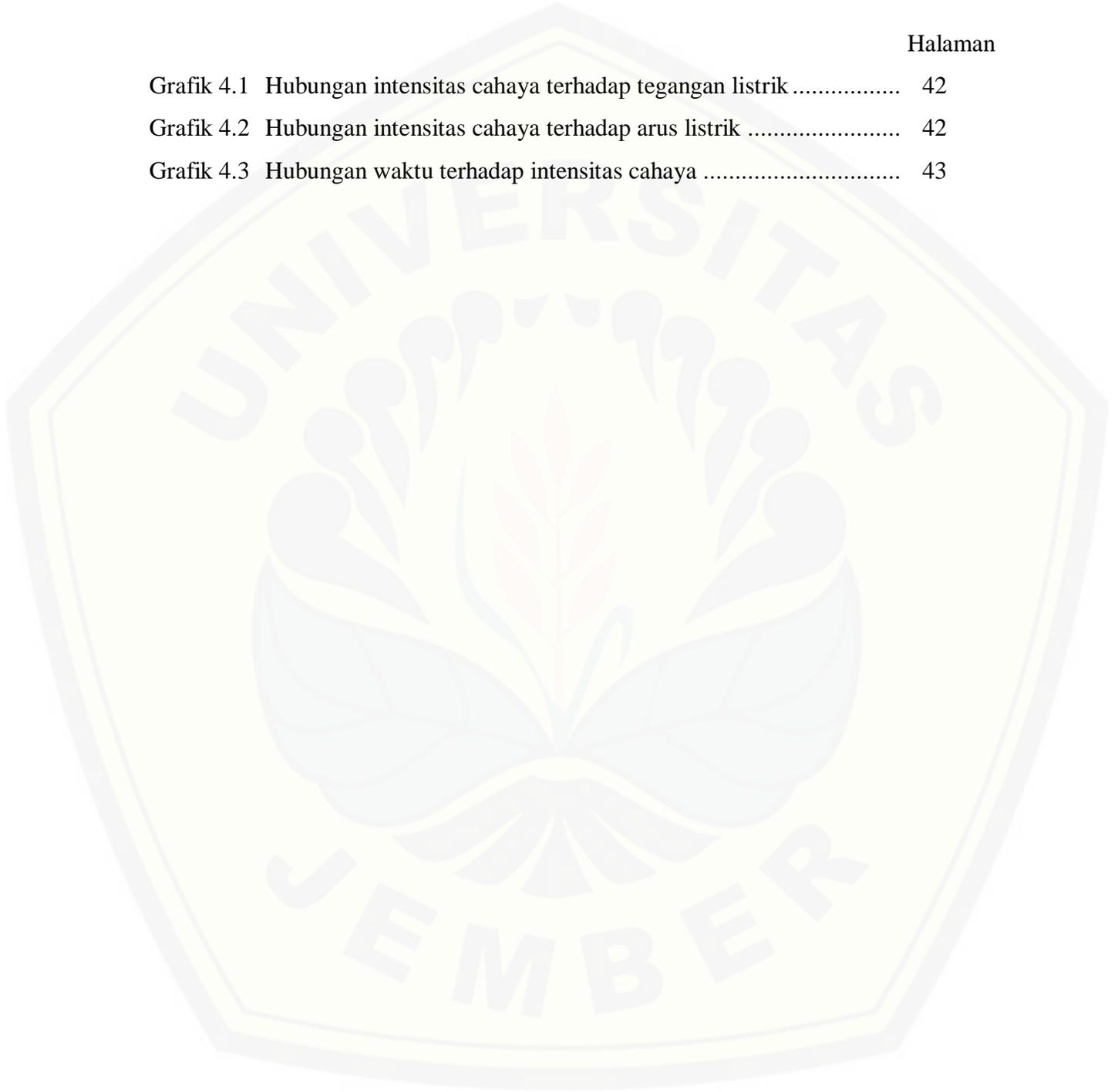
	Halaman
Tabel 3.1 Tabel penyajian data untuk pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari transistor tipe 2N3055.....	33
Tabel 4.1 Tabel hasil analisis data pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan.....	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur semikonduktor tipe P	10
Gambar 2.2 Struktur semikonduktor tipe N	10
Gambar 2.3 Diagram pita energi dan tingkat Fermi untuk kontak semikonduktor tipe-n semikonduktor tipe	11
Gambar 2.4 (a) Transistor pnp dan npn; dan (b) Arah-arrah referensi tegangan dan arus	12
Gambar 2.5 lapisan pertemuan a	13
Gambar 2.6 Konfigurasi Kaki Transistor 2N3055	14
Gambar 2.7 Kurva hubungan $V_{ce} - I_c$	15
Gambar 2.8 Rangkaian transistor seri	16
Gambar 2.9 Rangkaian transistor seri	16
Gambar 2.10 Irisan sebuah sel surya	17
Gambar 2.11 <i>P-N junction</i> pada sel surya	18
Gambar 2.12 <i>P-N junction</i>	19
Gambar 2.13 Struktur sel surya	19
Gambar 2.14 Karakteristik Sel Surya dan Dioda	20
Gambar 2.15 Karakteristik Sel Surya Monokristal dengan Luas 40 cm^2 , pada penyinaran 1000 W/m^2 dan temperature Sel 25°C	21
Gambar 2.16 Sebuah contoh node untuk mengilustrasikan penerapan hukum arus kirchoff	23
Gambar 2.17 Hukum Tegangan Kirchoff	24
Gambar 2.18 Rangkaian listrik loop tunggal	25
Gambar 3.1 Desain Alat Penelitian	29
Gambar 3.2 Diagram Rangkaian Sel Surya a) 12 seri, b) 6 seri x 2 paralel, c) 4 seri x 3 paralel, dan d) 12 paralel	29
Gambar 3.3 Bagan Alur Penelitian	30

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1 Hubungan intensitas cahaya terhadap tegangan listrik	42
Grafik 4.2 Hubungan intensitas cahaya terhadap arus listrik	42
Grafik 4.3 Hubungan waktu terhadap intensitas cahaya	43



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. MATIRIK PENELITIAN	49
B. ANALISIS PERHITUNGAN.....	50
C. ANALISIS PERHITUNGAN.....	59
D. TABEL TINGKAT KETELITIAN HASIL PENGUKURAN.....	73
E. LAMPIRAN E. PEMBUKTIAN $I_{\text{seri}} > I_{\text{paralel}}$.....	82
F. FOTO KEGIATAN PENELITIAN	86

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut letak astronomisnya, Indonesia berada di antara 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT. Berdasarkan letak astronomi tersebut Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa membelah bumi menjadi dua bagian, yaitu belahan bumi utara dan belahan bumi selatan. Wilayah Indonesia berdasarkan letak lintangnya berada di antara 6° LU – 11° LS, hal ini menyebabkan Indonesia memiliki iklim tropis dengan ciri-ciri antara lain memiliki hutan hujan tropis yang luas, menerima penyinaran matahari sepanjang tahun, memiliki curah hujan tinggi, dan sebagainya (Widayati, Sri. 2014: www.g-excess.com). Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa memperoleh sinar matahari rata-rata 10 jam/hari memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan 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 (Patayang, Mika, 2009: <http://digilib.its.ac.id>).

Sumber energi terbagi menjadi dua kelompok yaitu yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui. Contoh energi yang dapat diperbarui adalah biomasa, solar, tenaga angin, fotovoltaiik dan panas bumi, yang berarti sumber energi yang dengan mudah dapat diciptakan kembali. Energi yang tidak dapat diperbarui adalah

suatu sumber energi yang terpakai habis dan tidak dapat diciptakan kembali (Wenzig, 2012: 9).

Energi surya adalah energi yang berupa sinar dan panas dari matahari. Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan dibanyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Energi matahari ini dalam penggunaannya dapat dimanfaatkan sebagai energi untuk memanaskan (*solar thermal*) atau energi listrik (fotovoltaik).

Sel fotovoltaik adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. 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 sinar matahari (Handini, 2009: 1).

Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Bacquerel, seorang ahli fisika berkebangsaan Prancis tahun 1839 yang saat itu teorinya belum begitu berkembang. Pada tahun-tahun berikutnya beberapa penelitian tentang efek fotovoltaik ini berkembang terus, terutama sejak penemuan transistor pertama tahun 1947 yang menganggap pembuatan transistor prinsipnya mirip dengan sel surya dan pada tahun 1954 sel surya sudah mencapai efisiensi 8% (Sigalinggih, 1994: 2).

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor 2N3055 merupakan NPN transistor daya. Kelebihan transistor 2N3055 ini sering digunakan pada rangkaian-rangkaian elektronika, misalnya sebagai inverter, rangkaian power supply, rangkaian switching kecepatan tinggi, rangkaian pengendali motor DC, rangkaian pengendali selenoid,

rangkaian pengendali relay, rangkaian regulator *switching*, dan rangkaian penguat audio. Komponen ini banyak dijual ditoko-toko elektronika dan harganya murah. Dalam penggunaannya selama ini yang kita ketahui transistor 2N3055 memanfaatkan energi listrik, sedangkan dalam penelitian ini transistor 2N3055 akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Transistor 2N3055 yang digunakan tidak harus baru, komponen yang sudah tidak terpakai namun masih layak digunakan juga dapat dimanfaatkan menjadi teknologi tepat guna dan ekonomis .

Ariswan (2011) melakukan penelitian yang berjudul “Prospek Penelitian Dan Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sel surya paling sederhana merupakan sambungan dua jenis semikonduktor type 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 Roisy Hidayat (2013) dengan judul “Rancang Bangun Optimasi Sel Surya Menggunakan Transistor 2N3055 Bekas Berbasis Atmega 16”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan beban lampu LED dihasilkan tegangan sebesar 5,6 V dan menghasilkan arus sebesar 0,00028 A pada saat cuaca cerah, sedangkan pada cuaca mendung menghasilkan tegangan sebesar 4,8 Vdc dan arus 0,00017 A. Sel surya yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sensor cahaya. Sensor yang digunakan adalah LDR dengan jumlah 8 buah sensor. Sensor ini berfungsi untuk mencari cahaya matahari yang paling maksimal.

Berdasarkan fakta dan hasil penelitian di atas, maka penelitian ini diberi judul **"Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggunakan Transistor Tipe 2N3055"**. Penelitian yang akan dilakukan mengenai sambungan pn pada transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya dengan memperhatikan waktu penyinaran dan rangkaian seri paralel. Waktu penyinaran sel surya dilakukan mulai dari pukul 09.00 – 15.00 WIB

dengan pengambilan data setiap 1 jam sekali. Rangkaian transistor sebagai sel surya dengan jumlah 12 buah transistor.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Bagaimana pengaruh bentuk rancangan sel surya dengan menggunakan transistor tipe 2N3055 terhadap arus (I) dan tegangan (V)?
- b. Bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh rangkaian transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh bentuk rancangan sel surya dengan menggunakan transistor tipe 2N3055 terhadap arus (I) dan tegangan (V).
- b. Mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh rangkaian transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat yaitu:

- a. Dapat memberikan gambaran dan pengetahuan mengenai transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya.
- b. Meperoleh gambaran mengenai besar arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya pada saat intensitas maksimum.
- c. Pemanfaatan energi sinar matahari sebagai energi terbarukan dapat diaplikasikan secara luas.
- d. 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 transistor yang digunakan hanya dibatasi pada tipe 2N3055.
- b. Rangkaian transistor disusun di atas project board.
- c. Waktu penelitian dibatasi pada saat jam 09.00 sampai 15.00 WIB.
- d. Penelitian ini hanya membahas pengaruh intensitas cahaya serta susunan rangkaian transistor terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari transistor tipe 2N3055.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cahaya

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik. Beberapa sifat fisika cahaya paling baik diterangkan dengan ciri gelombangnya, sedangkan sifat lain diterangkan dengan sifat partikel yang disebut foton. Jadi cahaya dapat bersifat ganda. Kedua definisi tersebut merupakan sifat yang ditunjukkan cahaya secara bersamaan sehingga disebut dualisme gelombang-partikel yang menyatakan bahwa cahaya adalah gelombang dan partikel (Wikipedia, 2014:<http://id.wikipedia.org/wiki/Cahaya>).

2.1.1 Sifat Cahaya

Pada tahun 1801, untuk pertama kalinya Thomas Young (1773-1829) melakukan suatu peragaan yang benar-benar jelas mengenai sifat gelombang cahaya. Young menunjukkan bahwa dalam kondisi-kondisi yang tepat, sinar-sinar cahaya saling berinterferensi. Perilaku yang demikian tidak dapat dijelaskan pada saat itu menggunakan teori partikel karena tidak mungkin dua partikel atau lebih dapat bergabung atau saling menghilangkan.

Pada tahun 1873, Maxwell menyatakan bahwa cahaya merupakan suatu bentuk gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi. Hertz membuktikan secara eksperimen dari teori Maxwell pada tahun 1887 dengan menciptakan dan mendeteksi gelombang elektromagnetik, percobaan Hertz dengan menggetarkan pemutus arus mengakibatkan getaran listrik pada rangkaian sekunder yang nampak sebagai loncatan bunga api.

Model gelombang dan teori klasik mengenai listrik dan magnetisme mampu menjelaskan sifat-sifat cahaya, namun tidak dapat menjelaskan beberapa eksperimen seperti efek fotolistrik yang ditemukan oleh Hertz, yaitu ketika cahaya mengenai suatu permukaan logam, elektron-elektron terkadang terhambur dari permukaannya. Berbagai eksperimen menunjukkan bahwa energi kinetik dari suatu elektron yang

dikeluarkan tidak bergantung pada intensitas cahayanya. Penemuan ini bertentangan dengan teori gelombang yang menyatakan bahwa sinar cahaya yang lebih kuat tentu akan menambahkan lebih banyak energi pada elektron tersebut. Penjelasan efek fotolistrik diajukan oleh Einstein di tahun 1905 dalam sebuah teori yang menggunakan konsep kuantisasi yang dikembangkan oleh Max Planck (1858-1947) di tahun 1900. Model kuantisasi mengasumsikan bahwa energi dari suatu gelombang cahaya yang ada dalam partikel-partikel disebut *foton* dan energinya dikatakan terkuantisasi. Menurut teori Einstein, energi dari suatu *foton* sebanding dengan frekuensi dari gelombang elektromagnetik:

$$E = hf \quad (2.1)$$

konstanta kesebandingan $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ adalah konstanta Planck (Serway dan Jewett, 2010:3-4).

2.1.2 Intensitas Cahaya

Menurut Beisser Arthur (dalam Hidayat, 2013:3), gelombang elektromagnetik 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 berupa gelombang elektromagnetik dengan kecepatan $3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

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 *candela* melalui sudut ruang sebesar 1 *steradian*, maka akan mengalir fluks cahaya sebesar 1 *lumen*. Hal ini dinyatakan dengan:

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (2.2)$$

keterangan :

I = intensitas cahaya (cd)

Φ = fluks cahaya (lumen)

ω = sudut ruang (strd)

Intensitas penerangan (iluminasi) di suatu bidang ialah fluks cahaya yang jatuh pada 1 m² dari bidang tersebut, dengan satuan lux. Jika suatu bidang diterangi F lumen seluas A m², maka:

$$\bar{E} = \frac{\Phi}{A} \quad (2.3)$$

keterangan :

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

A = Luas bidang yang diterangi (m²) (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.

$$L = \frac{I}{A} \quad (2.4)$$

keterangan :

L = Luminasi (cd/m²)

I = Intensitas cahaya (cd)

A = Luas bidang yang diterangi (m²) (Kurnia, 2010: 20).

Intensitas radiasi matahari yaitu besar kecilnya sudut datang sinar matahari pada permukaan bumi. 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 atmosfer yang lebih jauh daripada sinar dengan sudut datang yang tegak lurus (Wikipedia. http://id.m.wikipedia.org/wiki/Radiasi_Matahari).

$$I_r = I_{r_0} \cos \theta \quad (2.5)$$

Keterangan:

I_r = Radiasi yang diserap Panel

I_{r_0} = Radiasi yang mengenai Panel

θ = Sudut antara sinar datang dengan normal bidang Panel

2.2 Semikonduktor

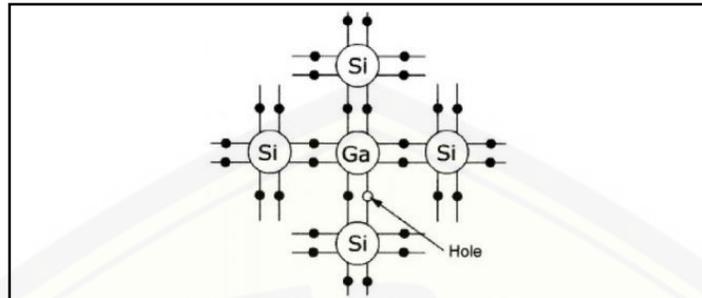
2.2.1 Germanium

Germanium adalah contoh dari sebuah semikonduktor yang mempunyai empat elektron dalam orbit valensi. Beberapa tahun yang lalu, germanium adalah satu-satunya bahan yang cocok untuk membuat peralatan semikonduktor. Tetapi peralatan germanium mempunyai sebuah kekurangan, yaitu arus balik yang sangat besar. Semikonduktor lain dinamakan silikon menjadi sesuatu yang dipakai untuk menggantikan germanium dan membuat germanium usang dalam sebagian besar pemakaian elektronik (Malvino, 2003: 35).

2.2.2 Semikonduktor Jenis P dan N

a. Semikonduktor tipe P

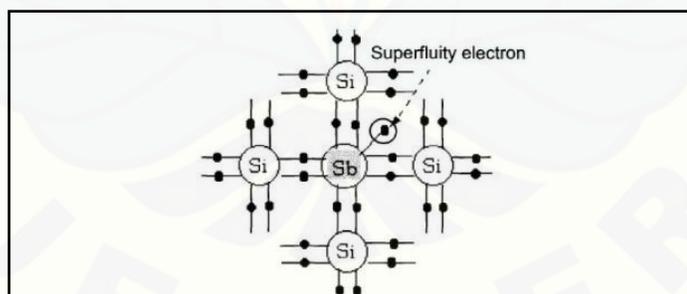
Semikonduktor ini dibuat dengan penambahan bahan (Ga : gallium; In: Indium; B: boron) memiliki tiga elektron valensi semikonduktor intrinsik. Melalui empat lapisan luar elektron yang dimilikinya, apabila kedua jenis material ini bertemu satu dengan lainnya, maka atom silikon dari kedua jenis atom ini tidak bisa berbagi elektron, sehingga arus listrik dapat mengalir dengan mudah dimana lowongan ini disebut *hole*. Tipe semikonduktor ini biasa disebut dengan P (*positive*) karena diasumsikan muatan listriknya adalah positif karena elektronnya lebih sedikit. Saat mendapat tegangan, elektron mengisi sisi *hole* kemudian *hole* tersebut secara terus menerus bergerak menurun. Arus listriknya mengalir melalui *hole* yang ada di dalam semikonduktor tipe P ini.



Gambar 2.1 Struktur semikonduktor tipe P (Anonim, 2011:[http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/semiconductor-tipe P-dan-tipe N/](http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/semiconductor-tipe-P-dan-tipe-N/))

b. Semikonduktor tipe N

Semikonduktor ini dibuat dengan menambahkan material (P: phosphorus; As: arsenic; Sb: antimony) memiliki lima lapisan luar elektron dalam semikonduktor intrinsik. Bila lima elemen valensi ini ditambahkan untuk mengikat silikon, maka satu elektron tetap bertahan sebagai kelebihan di dalam oktet, sehingga daya hantar elektron tersebut bisa baik melalui gerak bebas elektron yang tertinggal. Semikonduktor ini disebut dengan tipe N (negatif) karena arus listriknya diasumsikan adalah negatif. Arus listrik ini mengalir melalui semikonduktor tipe N (penghantar: elektron).

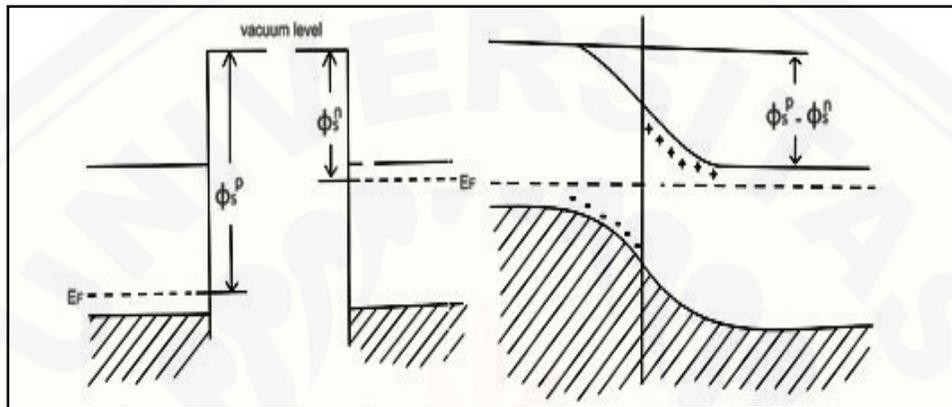


Gambar 2.2 Struktur semikonduktor tipe N (Anonim, 2011:[http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/semiconductor-tipe P-dan-tipe N/](http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/semiconductor-tipe-P-dan-tipe-N/))

2.2.3 Sambungan P-N

Persambungan P-N dibentuk dengan menempatkan semikonduktor tipe P dan tipe N, sehingga terjadi kontak yang erat dalam skala atom. Tingkatan Fermi dalam

hal ini merupakan suatu tetapan dalam seluruh bahan dalam keadaan setimbang. Apabila tidak demikian halnya, maka elektron di satu sisi mempunyai energi rata-rata yang lebih tinggi dari sisi lain dari persambungan tersebut serta suatu perpindahan elektron dan energi akan terjadi sampai tingkatan Fermi kedua sisi tersebut sama (Millman dan Hilkias, 1993:373).



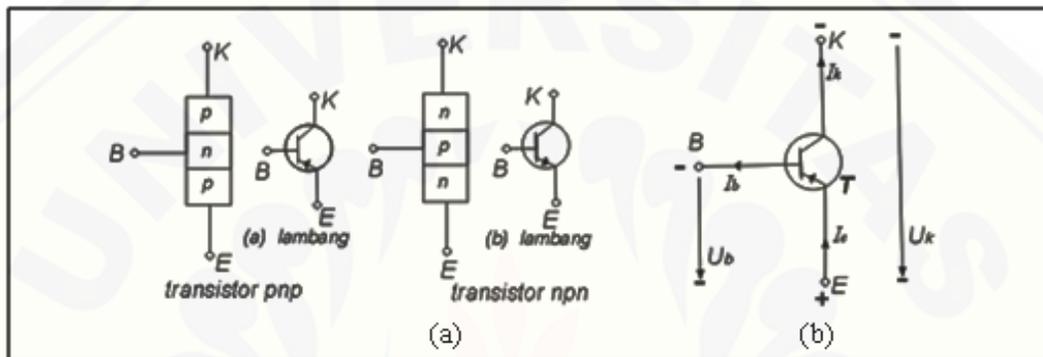
Gambar 2.3 Diagram pita energi dan tingkat Fermi untuk kontak semikonduktor tipe N semikonduktor tipe P (sambungan P-N) (Subekti, 1999:14-15)

Jika semikonduktor tipe N dan tipe P disambungkan (gambar 2.3), elektron pada tipe N akan berpindah ke tipe P dan akibatnya tingkat Fermi keduanya menjadi sama. Pembawa muatan bebas akan terdefleksi dekat perbatasan dan terjadi pembelokan pita energi akibat adanya lapisan muatan positif donor pada tipe N dan lapisan muatan negatif aseptor pada tipe P. Besarnya pembelokan pita energi tersebut sama dengan tingkat energi Fermi kedua semikonduktor tersebut (Subekti, 1999:13-15).

2.3 Transistor

Transistor adalah komponen semikonduktor dengan dua lapisan Pertemuan P-N. Transistor terbagi dua macam jenis, yakni transistor PNP dan transistor NPN, seperti yang terlihat pada gambar 2.4 (a), dengan lambang-lambang seperti tampak disampingnya. Bahan dasar yang biasa digunakan adalah germanium atau silikon. Salah satu elektroda yang dimaksudkan untuk memberikan arus (arus lubang-lubang

pada transistor PNP, elektron-elektron pada transistor NPN) disebut *emitter* (E). Arus dari *emitter* sebagian mengalir ke *basis* (B), sebagian ke *kolektor* (K). Arus yang datang dari *emitter* ke *kolektor* diteruskan ke bagian-bagian rangkaian lainnya. Dasar kerja transistor PNP dan NPN adalah sama, sehingga untuk mempelajarinya cukup meninjau transistor PNP yang pada umumnya dibuat dengan bahan dasar germanium (Margunadi, 1986: 162-163).



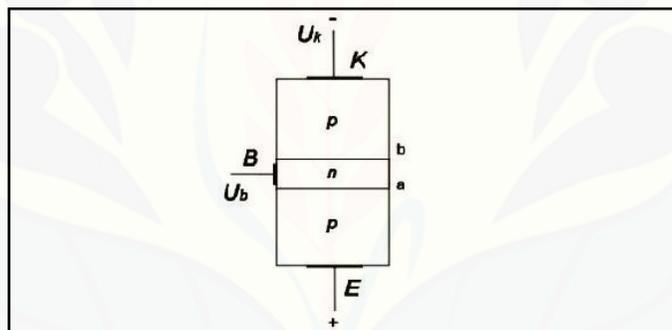
Gambar 2.4 (a) Transistor PNP dan NPN
(b) Arah-arrah referensi tegangan dan arus (Margunadi, 1986: 162)

Transistor PNP menunjukkan anak panah di dalam simbol pada hubungan *emitter* menunjuk ke dalam. Transistor NPN menunjukkan anak panah di dalam simbol pada hubungan *emitter* menunjuk keluar. Adapun keterangan tersebut adalah sebagai berikut:

- Untuk transistor PNP basis harus negatif terhadap *emitter* (atau kurang positif terhadap *emitter*).
- Emitor harus positif terhadap *kolektor*. Arusnya mengalir dari plus (+) ke minus (-).
- Untuk transistor NPN, basis harus positif terhadap *emitter* (atau kurang negatif terhadap *emitter*).
- Kolektor harus positif terhadap *emitter* (Daryanto, 2000: 45-46)

Gambar 2.4 (b) menunjukkan arah-arrah referensi tegangan dan arus pada transistor PNP. Polaritas tegangan terlihat seperti yang ditunjukkan, yakni kolektor

diberi tegangan negatif terhadap *emitter*, maka arah tegangan pada lapisan Peralihan P-N antara *emitter* dan *basis* (lapisan Pertemuan a, gambar 2.5 adalah sesuai dengan arah penghantaran). Tetapi arus tak dapat mengalir ke katoda K karena arah tegangan pada lapisan N-P antara *basis* dan *kolektor* berlawanan dengan arah penghantaran. Keadaan akan berubah bila B diberi tegangan negatif terhadap K. Lubang-lubang dari lapisan P yang terhubung pada katoda mulai membanjiri lapisan N karena polaritas B sesuai dengan arah penghantaran. Jumlah donor pada lapisan N dibuat lebih kecil daripada akseptor di lapisan P, maka hanya sebagian kecil daripada lubang-lubang mengalami rekombinasi dengan elektron-elektron bebas di lapisan N. Sebagian besar lubang-lubang mengalir ke kolektor karena pengaruh medan listrik yang lebih kuat di K disebabkan lapisan N dibuat lebih tipis dari lapisan Peralihan (Margunadi, 1986: 162-163).



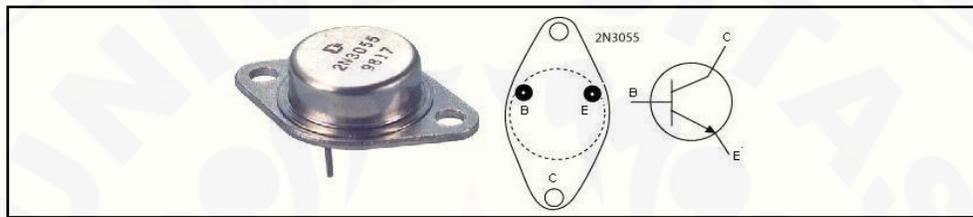
Gambar 2.5 lapisan pertemuan a (Margunadi. 1986: 163)

2.3.1 Transistor 2N3055

Transistor 2N3055 merupakan jenis NPN transistor daya. Transistor memiliki keluaran sesuai dengan tipe masing-masing. Terdapat dua karakteristik keluaran pada transistor yaitu Konfigurasi Basis Bersama (*Common Base Konfiguration*) dan Konfigurasi Emitor Bersama (*Common Emitter Konfiguration*). Konfigurasi Basis Bersama (*Common Base Konfiguration*) merupakan basis digunakan untuk terminal masukan maupun keluaran. Karena sambungan emitor-basis seperti diode berpanjar maju, maka karakteristik masukan rangkaian ini mirip dengan karakteristik diode.

Efek dari tegangan kolektor-basis V_{cb} kecil. Konfigurasi Emitor Bersama (*Common Emitter Konfiguration*) lebih sering digunakan sebagai penguat arus. Sesuai dengan namanya emitor dipakai bersama sebagai terminal masukan maupun keluaran.

Transistor 2N3055 biasanya digunakan pada rangkaian power supply, rangkaian *switching* kecepatan tinggi, rangkaian pengendali motor DC, rangkaian pengendali relai, rangkaian regulator *switching*, dan rangkaian penguat audio (Arifianto, 2011:301-302).

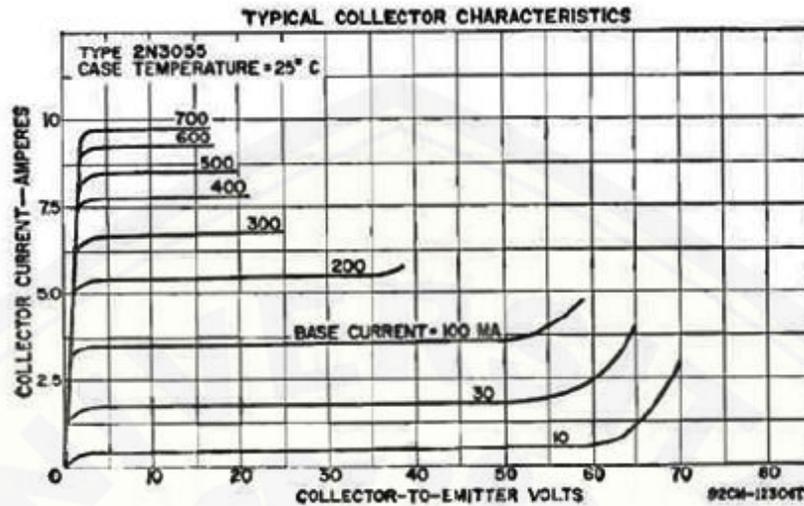


Gambar 2.6 Konfigurasi Kaki Transistor 2N3055 (Anonim, 2007: http://www.rmcybernetics.com/projects/DIY_Devices/homemad_e_ignition_coil_driver.htm).

Karakteristik transistor 2N3055 sebagai berikut:

- a. Tegangan maksimum kolektor-emitor (V_{ce}): 60 volt.
- b. Tegangan maksimum kolektor-basis (V_{cb}): 100 volt.
- c. Tegangan maksimum emitor-basis (V_{eb}): 7 volt.
- d. Arus kolektor konstan: 15 ampere.
- e. Disipasi daya: 125 watt.
- f. Kemasan: TO-3.

Kurva karakteristik hubungan I_c , I_b dan V_{ce} untuk suatu harga V_{be} , dari transistor 2N3055 adalah seperti diperlihatkan pada gambar 2.7. Gambar 2.7 menunjukkan bahwa besarnya I_c naik dengan adanya kenaikan I_b , gambar 2.7 memberikan karakteristik hubungan I_c , I_b dan V_{ce} untuk transistor 2N3055, yang memberikan gambaran efek dari pemberian tegangan yang tinggi.



Gambar 2.7 Kurva hubungan $V_{ce} - I_c$ (<http://alltransistors.com>)

Transistor umumnya dibuat dari bahan silicon dan sebagian (terutama transistor-transistor tipe lama) 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 (Purwanti, 2011: Kompas.com).

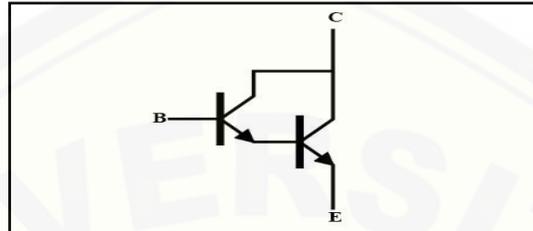
2.3.2. Meningkatkan Kemampuan Transistor

Transistor memiliki kemampuan yang dibatasi dari spesifikasi teknis dari produsen transistor tersebut sesuai tipe masing-masing transistor. Beberapa kemampuan transistor yang sering digunakan adalah kemampuan transistor dalam menguatkan tegangan dengan istilah faktor penguatan (h_{fe}) dan kemampuan maksimum mengalirkan arus listrik pada terminal kolektor emitor. Secara umum ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan transistor tersebut.

a. Konfigurasi Transistor Seri

Sambungan transistor secara seri ini digunakan untuk mendapatkan penguatan yang tinggi, karena hasil penguatan pada transistor yang pertama akan dikuatkan

lebih lanjut oleh transistor kedua. Keuntungan dari rangkaian seri adalah penggunaan ruang yang lebih kecil dari pada rangkaian dua buah transistor biasa dengan bentuk konfigurasi yang sama.

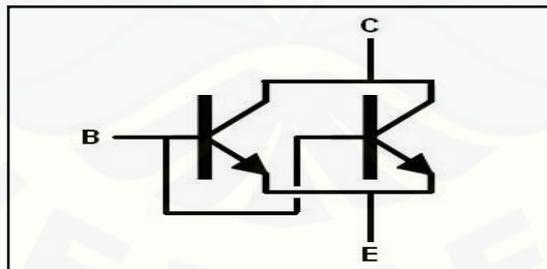


Gambar 2.8 Rangkaian transistor seri
(<http://elektronika-dasar.web.id>)

Rangkaian transistor seri bersifat seolah-olah sebagai satu transistor tunggal yang mempunyai penguatan yang tinggi. Penguatan total dari rangkaian transistor seri bisa mencapai 1000 kali atau lebih. Dari segi tegangan listriknya, voltase base-emitter rangkaian ini juga lebih besar, dan secara umum merupakan jumlah dari kedua tegangan masing-masing transistornya, seperti nampak dalam rumus berikut (<http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/meningkatkan-kemampuan-transistor/>).

$$V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2} \quad (2.6)$$

b. Konfigurasi Transistor Paralel



Gambar 2.9 Rangkaian transistor seri
(<http://elektronika-dasar.web.id>)

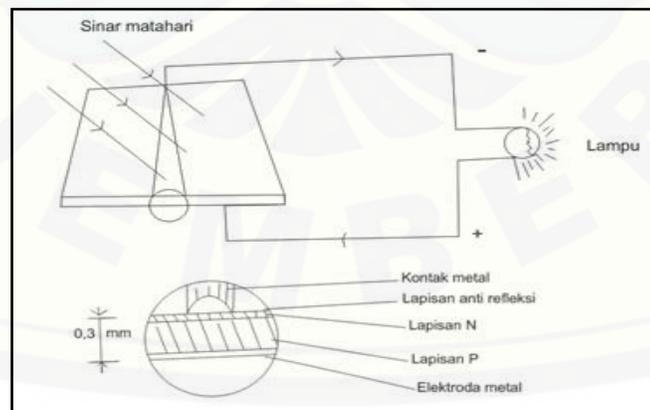
Konfigurasi transistor paralel bertujuan untuk menguatkan kapasitas arus transistor. pada konfigurasi transistor secara paralel ini kaki basis dihubungkan dengan basis, emitor dengan emitor dan kolektor dengan kolektor. Pada

konfigurasi 2 buah transistor parallel maka besarnya kapasitas atau kemampuan mengalirkan arus listrik transistor akan naik 2 kali lipat. Menghubungkan 2 buah transistor power secara parallel maka besarnya kemampuan transistor mengalirkan arus I_{max} akan menjadi 2 kali lebih besar sesuai persamaan berikut (<http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/meningkatkan-kemampuan-transistor/>).

$$I_{Max\ total} = I_{Max1} + I_{Max2} \quad (2.7)$$

2.4 Sel Surya

Matahari merupakan dasar seluruh proses kehidupan di Bumi. Semua penggunaan energi langsung maupun tidak langsung membutuhkan sinar matahari, kecuali energi nuklir dan panas Bumi. Energi matahari pada umumnya disimpan dalam bentuk bahan bakar fosil (misalnya: gas, minyak dan lain-lain) atau dalam bentuk biomasa (dari kayu). Bahan bakar fosil dapat menyimpan energi matahari sampai jutaan tahun lamanya, oleh karena itu bahan bakar fosil yang kita gunakan saat ini adalah hasil energi matahari yang tersimpan jutaan tahun yang lalu. Matahari dalam setiap tahunnya mengeluarkan energi 20.000 kali dari energi yang diperlukan seluruh dunia, sehingga pemanfaatan energi matahari menjadi energi yang dapat digunakan bagi kehidupan manusia merupakan tumpuan dimasa mendatang (Sigalingging, 1994: 1).

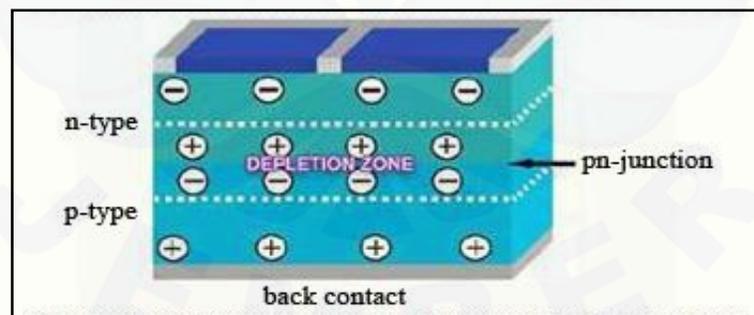


Gambar 2.10 Irisan sebuah sel surya (Sigalingging, 1994: 1-2)

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Apabila suatu cahaya jatuh padanya, maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan, yang dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor-motor listrik dan lain-lain. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar sel surya dapat dihubungkan seri atau paralel, tergantung sifat penggunaannya.

2.4.1 Prinsip Kerja Sel Surya

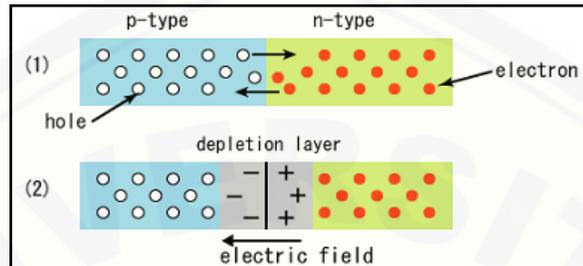
Sel surya terdiri dari dua jenis semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe N yang bermuatan negatif dan semikonduktor tipe P yang bersifat positif. Semikonduktor tipe P jika disambung dengan semikonduktor tipe N menghasilkan sambungan P-N. Semikonduktor tipe P merupakan semikonduktor dengan kekurangan *elektron* serta sebagai pembawa mayoritas *hole* dan tipe N merupakan material berkelebihan *elektron*. Adanya sambungan P-N ini memungkinkan kedua muatan positif (*hole*) maupun negatif (*elektron*) dapat berpindah dan mengalir ke arah yang berlawanan. Jika kedua ujung sambungan P-N ini dihubungkan dengan sebuah rangkaian listrik, maka *elektron* dan *hole* dapat mengalir ke rangkaian. Sinar matahari (*foton*) yang menggerakkan *elektron* dan *hole* tersebut menuju rangkaian.



Gambar 2.11 P-N junction pada sel surya (Shahab, 2010: 2)

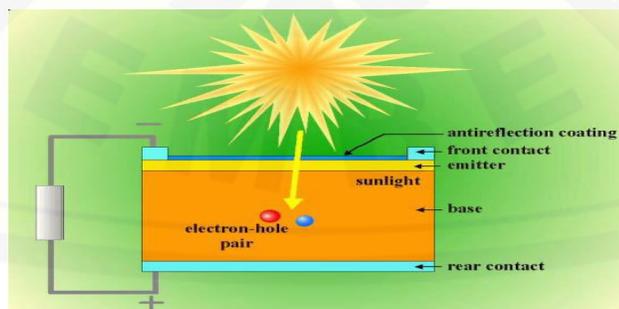
Sambungan dua semikonduktor berbeda tipe tersebut akan membentuk *depletion layer* yang menghasilkan medan listrik. Gambar 2.11 merupakan perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor N menuju semikonduktor P, dan

perpindahan hole dari semikonduktor P menuju semikonduktor N. Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal.



Gambar 2.12 P-N junction (Shahab, 2010: 2)

Gambar 2.12 (1) setelah dua jenis semikonduktor ini disambungkan, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor N menuju semikonduktor P, dan perpindahan hole dari semikonduktor P menuju semikonduktor N. Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal. Gambar 2.12 (2) merupakan perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, menimbulkan medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor P dan elektron ke semikonduktor N. 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 positif. 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.

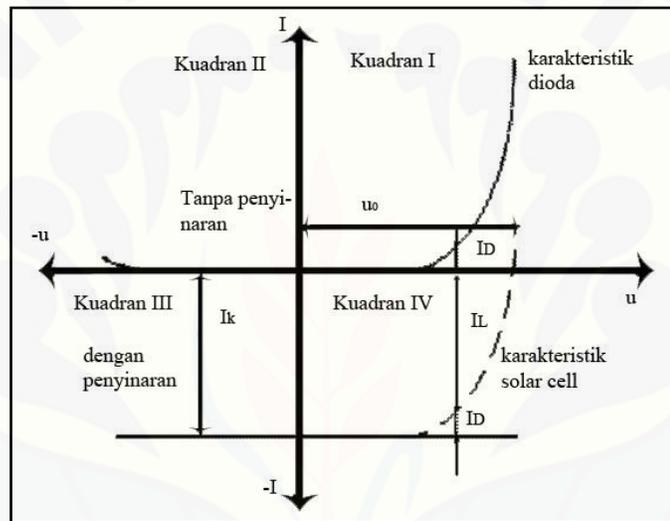


Gambar 2.13 Struktur sel surya (Shahab, 2010: 2-3)

Pada Gambar 2.13 diperlihatkan prinsip kerja sel surya, dimana energi *photo* yang lebih besar dari energi *band gap* semikonduktor akan men-*generate* pasangan *electron-hole*.

2.4.2 Karakteristik Sel Surya

Sel surya pada keadaan tanpa penyinaran, mirip seperti permukaan penyinaran setengah gelombang Dioda. Ketika sel surya mendapat sinar akan mengalir arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus Dioda seperti terlihat dari grafik karakteristiknya.

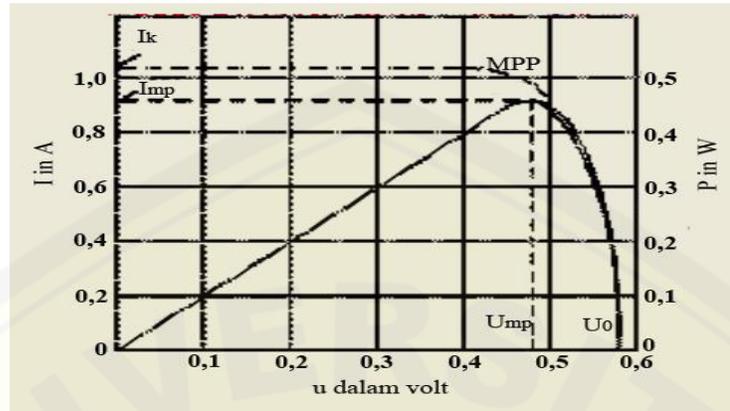


Gambar 2.14 Karakteristik Sel Surya dan Dioda (Sigalingging, 1994: 10)

Gambar 2.14 melihat bahwa grafik sel surya tidak tergantung dari sifat-sifat Dioda. Jika kita selidiki pada kuadran IV akan ditemukan tiga titik penting yaitu:

- Tegangan beban nol U_0 diukur tanpa bebantannya dipengaruhi penyinaran.
- Arus hung singkat I_k diukur saat sel hubung singkat, dan di sini arus hubung singkat berbanding lurus dengan kuat penyinaran.
- Titik daya maximum (Maximum Power Point = MPP) dari sel surya didapatkan dari hasil arus dan tegangan yang dibuat pada setiap titik.

Dalam hal U_0 dan I_k maximum, daya yang dihasilkan suatu sel surya sama dengan nol.



Gambar 2.15 Karakteristik Sel Surya Monokristal dengan Luas 40 cm^2 , pada penyinaran 1000 W/m^2 dan temperature Sel 25°C (Sigalingging, 1994: 11).

Titik tertentu daya sel surya mencapai titik maximum dan titik ini disebut titik MPP (Maximum Power Point), yang pada prakteknya selalu diusahakan agar pemakaian berpatokan dari titik MPP. Konversi energi dari sel surya ke konsumen akan maximum apabila tahanan pemakai (R_L) dan tahanan sel surya memenuhi persamaan, $R_L = R_i$. Keadaan ini pada teknik listrik disebut dengan istilah *beban pas*. Pengubahan tegangan searah khusus atau sering disebut MPT (Maximum Power Tracker) memungkinkan *beban pas* ini dicapai.

2.4.3 Transistor 2N3055 Sebagai Sel Surya

Transistor 2N3055 pada dasarnya berfungsi sebagai penguat (amplifier) yang pengoperasiannya melakukan daya listrik dari luar. Transistor ini dapat diubah fungsinya menjadi penghasil energi listrik dengan mendatangkan sinar (cahaya) pada permukaan transistor tersebut. Susunan semikonduktor dan transistor 2N3055 ini tersusun dari keping semikonduktor jenis P yang diapit dengan dua keping semikonduktor jenis N dan dalam penggabungan tersebut menghasilkan dua daerah diplesi. 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. Demikian pula pada fototransistor terjadi pula amplifikasi arus disamping gejala tersebut. Semua elemen yang dibicarakan tadi bekerja dengan sumber tegangan ekstern. Elemen-elemen ini dapat diterapkan pada deteksi cahaya dan sekaligus sebagai pengubah energi cahaya menjadi energi listrik (O.G Brink, dalam Subekti, 1992:20).

Cahaya yang didatangkan pada elemen seperti transistor 2N3055 dapat membangkitkan arus listrik. Hal ini dapat dipahami karena foton cahaya yang mempunyai energi cukup besar akan mampu meloncatkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini mengakibatkan pembawa muatan yang berlebihan dan menimbulkan arus melalui sambungan luar. Arus ini disebut arus hubung pendek (*short circuit current*). Demikian juga halnya akan terjadi tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*) (Subekti, 1992:20).

Arus elektron dalam mengatasi halangan pada sambungan P-N adalah dengan cara meningkatkan intensitas penyinaran sehingga elektron memiliki energi vibrasi yang lebih besar. Penyinaran sambungan P-N dengan radiasi matahari 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 lobang. Elektron akan cenderung untuk berjalan ke arah silikon tipe N, sedangkan lobang 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).

Transistor 2N3055 merupakan jenis transistor NPN. Apabila bahan semikonduktor transistor tersebut dikenai cahaya maka akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya yang diterima. Intensitas cahaya yang diterima secara tegak lurus oleh transistor 2N3055 akan menghasilkan energi listrik yang maksimal. Apabila intensitas cahaya yang diterima tidak tegak lurus, maka energi listrik yang dihasilkan akan lebih kecil karena radiasi matahari yang diterima lebih kecil dengan faktor $\cos \theta$ (lihat persamaan 2.5).

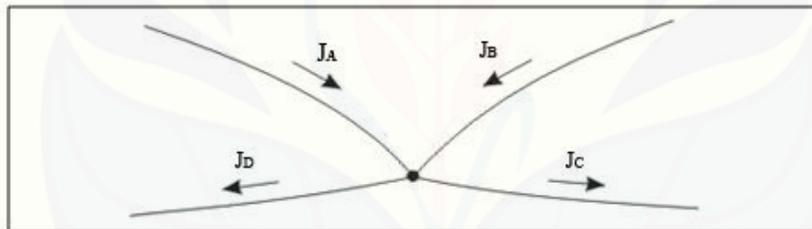
2.5 Hukum Kirchoff

Dua buah hukum sederhana, yakni hukum arus Kirchoff dan hukum tegangan Kirchoff, menjadi dasar prosedur-prosedur analisis rangkaian. Suatu rangkaian dapat disederhanakan dengan jalan mengkombinasikan elemen-elemen yang terhubung seri atau paralel.

2.5.1 Hukum I Kirchoff

Hukum pertama dari dua buah hukum rangkaian yang namanya diambil dari seorang profesor di Jerman, Gustav Robert Kirchoff, yang lahir pada waktu Ohm melakukan eksperimen ilmiahnya. Hukum aksomatis ini disebut sebagai hukum I Kirchoff (Hukum Arus Kirchoff) yang menyatakan bahwa "Jumlah aljabar dari arus-arus yang memasuki setiap node rangkaian adalah nol."

Hukum ini mempresentasikan pernyataan matematika dari fakta bahwa muatan tidak dapat terakumulasi pada sebuah node. Sebuah node bukanlah elemen rangkaian dan node ini tidak dapat menyimpan ataupun membangkitkan muatan.



Gambar 2.16 Sebuah contoh node untuk mengilustrasikan penerapan hukum arus kirchoff (William,2005:35)

Gambar 2.16 merupakan jumlah aljabar dari empat buah arus yang memasuki node harus sama dengan nol.

$$J_A + J_B + (-J_C) + (-J_D) = 0 \quad (2.8)$$

Jelas terlihat bahwa hukum ini juga dapat diterapkan dengan sama baiknya terhadap jumlah aljabar arus yang meninggalkan node, yaitu

$$(-J_A) + (-J_B) + J_C + J_D = 0 \quad (2.9)$$

Penjumlahan arus-arus yang memiliki tanda panah referensi yang diarahkan masuk ke suatu node dengan penjumlahan arus-arus yang memiliki tanda panah referensi keluar

dari node yang bersangkutan juga dapat disamakan:

$$J_A + J_B = J_C + J_D \quad (2.10)$$

Jumlah arus yang masuk harus sama dengan yang keluar dari suatu node.

Bentuk Hukum I Kirchhoff adalah sebagai berikut,

$$\sum_{n=1}^N J_n = 0 \quad (2.11)$$

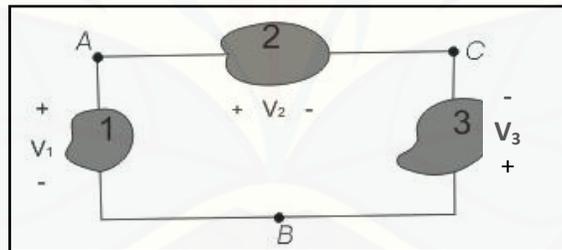
yang merupakan bentuk ringkas dari

$$J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_N = 0 \quad (2.12)$$

Persamaan (2.10) atau (2.11) harus dipahami bahwa N tanda panah arus semuanya diarahkan menuju ke suatu node atau semuanya diarahkan menuju node yang bersangkutan.

2.5.2 Hukum II Kirchoff

Hukum kedua yang menjadi dasar prosedur-prosedur analisis rangkaian adalah hukum tegangan Kirchoff. Hukum II Kirchoff menyatakan bahwa "Dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL dan jumlah penurunan potensial sama dengan nol."



Gambar 2.17 Hukum Tegangan Kirchoff
(William, 2005:37)

Arus berkaitan dengan muatan yang mengalir melalui sebuah elemen rangkaian, sedangkan tegangan merupakan ukuran dari selisih energi potensial pada terminal-terminal elemen. Energi yang diperlukan untuk memindahkan satu satuan muatan dari titik A ke titik B dalam sebuah rangkaian harus memiliki sebuah nilai yang bebas atau tidak bergantung pada lintasan yang diambil untuk bergerak dari titik A ke B .

Gambar 2.17 menunjukkan jika sebuah muatan 1 C dari A ke B melalui elemen 1, tanda-tanda polaritas referensi untuk V_1 menunjukkan bahwa melakukan kerja V_1 Joule. Jika bergerak dari A ke B melalui node C maka mengeluarkan $V_2 - V_3$ Joule energi, namun kerja yang dilakukan tidak bergantung pada lintasan rangkaian, dan nilai-nilai ini haruslah sama. Setiap rute yang diambil harus memungkinkan diperolehnya nilai tegangan yang sama. Sehingga,

$$V_1 = V_2 - V_3 \quad (2.13)$$

Jika dianalisis pada sebuah lintasan tertutup, jumlah aljabar dari tegangan-tegangan pada masing-masing elemen lintasan ini harus sama dengan nol. Sehingga,

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N = 0 \quad (2.14)$$

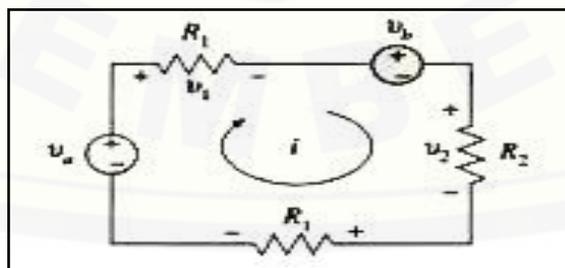
atau dalam bentuk yang lebih umum dituliskan sebagai,

$$\sum_{n=1}^N v_n = 0 \quad (2.15)$$

Hukum II Kirchoff dapat diterapkan pada sebuah rangkaian dengan berbagai cara yang berbeda. Salah satu metode yang dapat membimbing pada penulisan persamaan rangkaian dengan kemungkinan kesalahan yang lebih kecil dibandingkan dengan metode-metode lainnya adalah dengan bergerak mengelilingi suatu lintasan tertutup dengan arah yang searah dengan perputaran arah jarum jam dan menuliskan tegangan dari setiap elemen yang terminal (+)nya dijumpai lebih dahulu, serta menuliskan harga negatif dari setiap tegangan yang dijumpai pertama kali pada tanda (-)nya. Penerapan metode ini pada loop tunggal di gambar 2.17 akan diperoleh

$$-V_1 + V_2 - V_3 = 0 \quad (2.16)$$

yang sesuai dengan hasil sebelumnya, yaitu persamaan (2.13) di atas (William, 2005:34-37).



Gambar 2.18 Rangkaian listrik loop tunggal
(Joseph A. Edminister. 2004: 17)

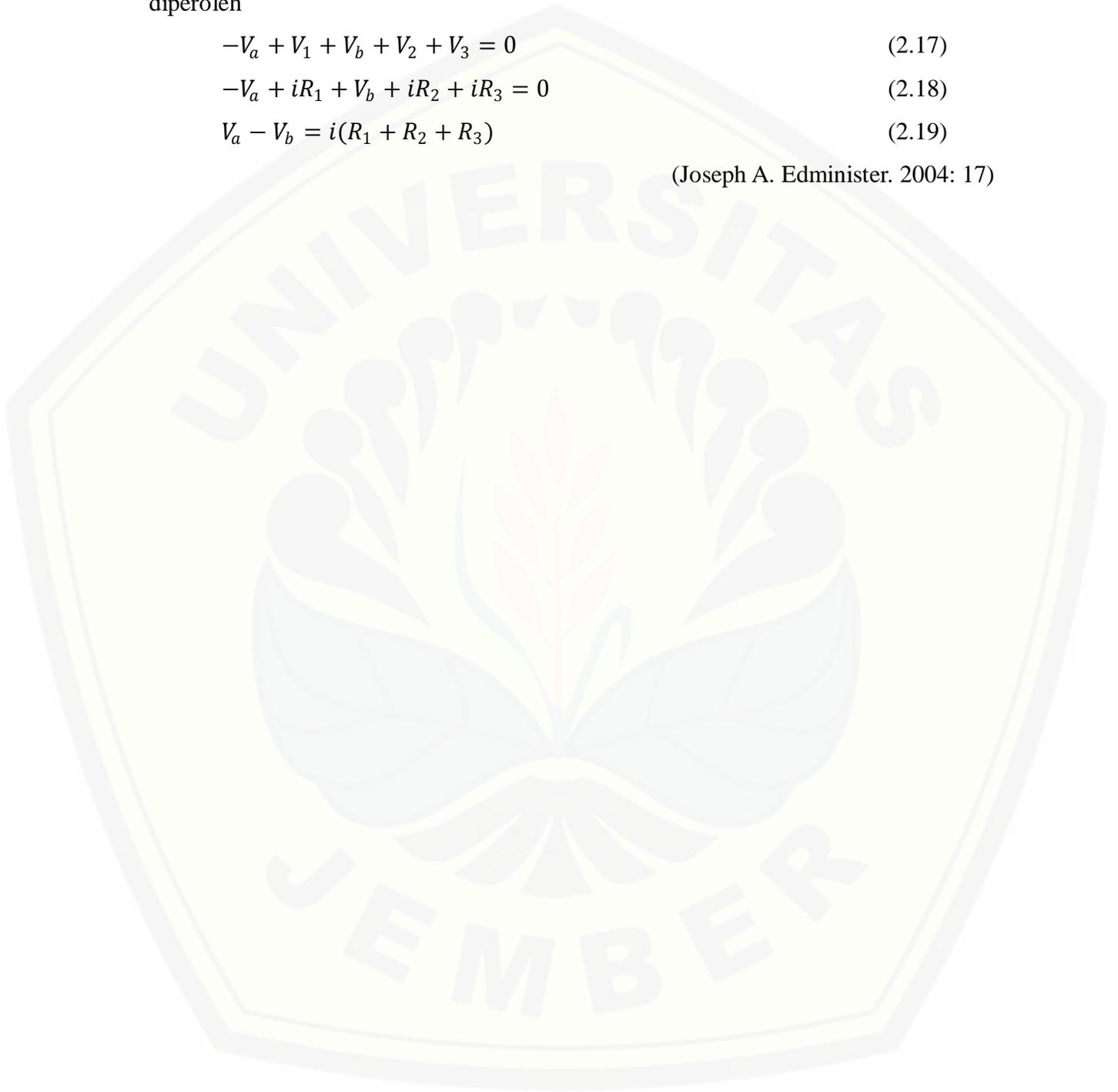
Penerapan loop tunggal pada rangkaian listrik ditunjukkan gambar 2.18 akan diperoleh

$$-V_a + V_1 + V_b + V_2 + V_3 = 0 \quad (2.17)$$

$$-V_a + iR_1 + V_b + iR_2 + iR_3 = 0 \quad (2.18)$$

$$V_a - V_b = i(R_1 + R_2 + R_3) \quad (2.19)$$

(Joseph A. Edminister. 2004: 17)



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian *eksperimen*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari transistor tipe 2N3055.

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 2014/2015.

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. Rancang Bangun Sel Surya

Rancang bangun adalah proses perencanaan yang menggambarkan urutan kegiatan (sistematika) mengenai suatu program. Rancang bangun sel surya adalah proses perancangan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik.

b. Transistor 2N3055

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor yang digunakan dalam penelitian ini adalah transistor daya tipe 2N3055. Transistor tipe 2N3055 merupakan transistor NPN yang sering digunakan sebagai penguat dalam sebuah rangkaian elektronika.

c. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah besaran pokok fisika untuk mengukur daya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada arah tertentu per satuan sudut. Satuan SI dari intensitas cahaya adalah Candela (Cd). Nilai intensitas cahaya pada penelitian ini didapatkan dari pengukuran intensitas pencahayaan/ Iluminasi dengan mengkonversi menjadi nilai Luminasi kemudian dari nilai Luminasi bisa didapatkan nilai nilai Intensitas cahaya.

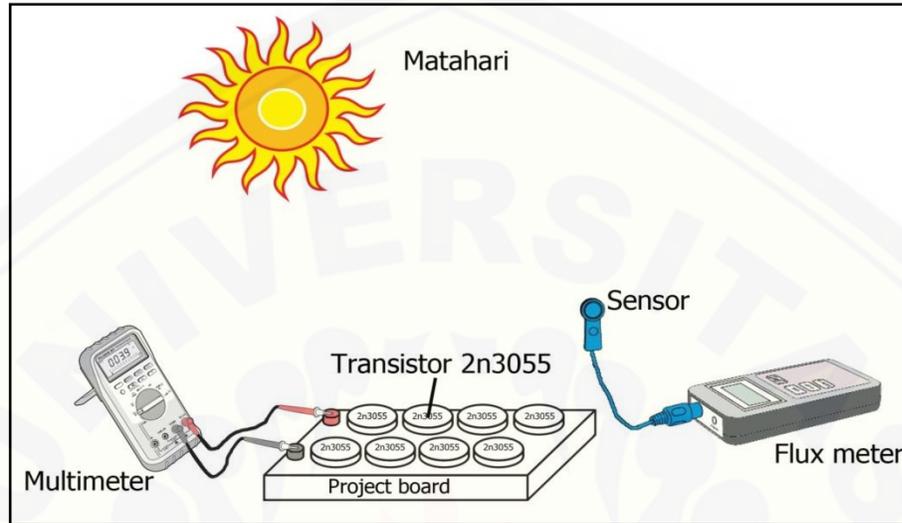
3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan penelitian yang digunakan untuk meneliti pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari transistor tipe 2N3055 adalah :

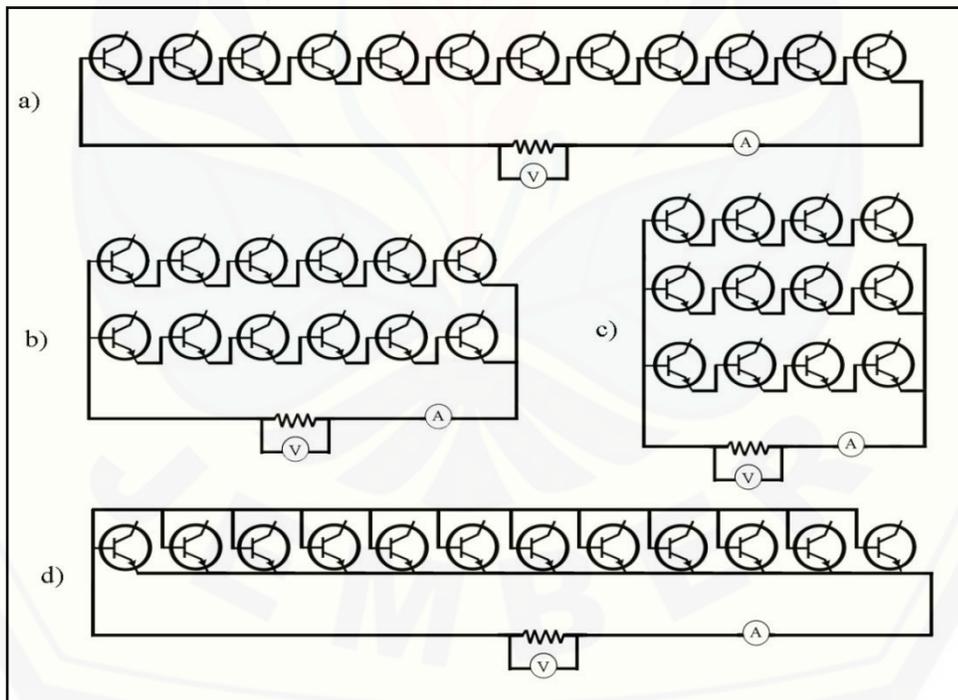
- a. Transistor tipe 2N3055 sebanyak 12 biji
- b. Luxmeter
Spesifikasi:
 1. Merk : DEKKO
 2. Tipe / jenis : LX 1010 BS
 3. Range pengukuran : 0-100.000 Lux
 4. Nilai maksimum *display* : 1999
- c. Project Board
- d. Multimeter
- e. Kabel penghubung/ konektor
- f. Stopwatch

3.5 Desain Alat Penelitian

Desain penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



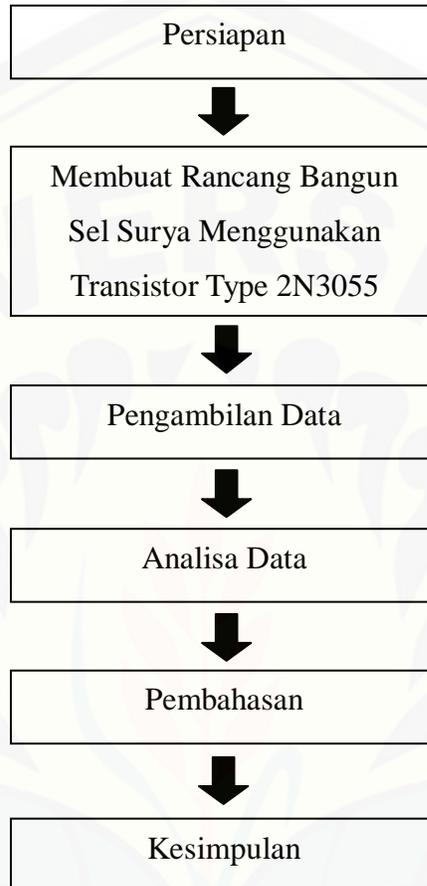
Gambar 3.1 Desain Alat Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Rangkaian Sel Surya a) 12 seri, b) 6 seri x 2 paralel, c) 4 seri x 3 paralel, dan d) 12 paralel.

3.6 Alur Penelitian

Penelitian ini mempunyai alur sebagai berikut:



Gambar 3.3 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 dan solarimeter telah terkalibrasi dan tampilan angka dilayar dalam keadaan jelas.
2. Multimeter dalam keadaan normal dan terkalibrasi.

3. Transistor 2N3055 disusun secara seri-paralel sebagai berikut:
 - a) 12 seri
 - b) 6 seri x 2 paralel
 - c) 4 seri x 3 paralel
 - d) 12 paralel
4. Kabel penghubung/konektor secukupnya.
5. Project board dalam keadaan tersusun rapi.
6. Stopwatch.
- b. Merangkai alat dan bahan
Menyusun set alat percobaan seperti pada gambar 3.1 dan 3.2.
- c. Penelitian
Adapun proses penelitian dijelaskan sebagai berikut:
 - 1) Meletakkan rangkaian sel surya transistor tipe 2N3055 di tempat yang bebas terkena sinar matahari langsung dengan waktu penelitian pada pukul 09.00 sampai 15.00 WIB. Waktu penelitian dilakukan pada jam 09.00 sampai 15.00 WIB karena pada waktu tersebut intensitas cahaya matahari yang dipancarkan dapat diterima sel surya secara optimal.
 - 2) Meletakkan luxmeter disamping rangkaian sel surya transistor tipe 2N3055.
 - 3) Mengukur tegangan, arus, dan iluminasi setiap satu jam sekali (09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, dan 15.00 WIB) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan.
 - 4) Mencatat nilai tegangan, arus, dan 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) Arus (I) dan tegangan (V) yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan Multimeter.

- e. Melakukan percobaan diatas pada masing-masing rangkaian dengan 3 kali pengukuran.
- f. Menghitung nilai intensitas cahaya
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 transistor tipe 2N3055.
- h. Pembahasan
Apabila analisis data telah dilakukan maka dilanjutkan pembahasan terhadap hasil penelitian.
- i. Kesimpulan
Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.8 Teknik Penyajian Data

Data yang diperoleh dari eksperimen akan ditabulasikan dalam table sebagai berikut:

Tabel 3.1 Tabel penyajian data untuk pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya yang terbuat dari transistor tipe 2N3055

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iluminansi (Lux)	Rata-rata Iluminansi (Lux)	Intensitas Cahaya (cd)	Rata-rata Intensitas Cahaya (cd)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Efisiensi (η)	
1	12 Seri	09.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		10.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		11.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		12.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		13.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		14.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		15.00 WIB	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

2	6 Seri – 2 Paralel	09.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		10.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		11.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
2	6 Seri – 2 Paralel	12.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		13.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		14.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
2	6 Seri – 2 Paralel	15.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		09.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		10.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
3	4 Seri – 3 paralel	11.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		12.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____

		13.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		14.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		15.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		09.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		10.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		11.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
4	12 Paralel	12.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		13.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		14.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____
		15.00	_____	_____	_____	_____
		WIB	_____	_____	_____	_____

3.8 Teknik Analisis Data

Setelah melakukan pengukuran pada alat dan bahan maka diketahui :

- a. Menghitung rata-rata Iluminansi:

$$\bar{E} = \frac{\sum \text{Iluminansi}}{n} \quad (3.1)$$

- b. Menghitung rata-rata Tegangan Listrik:

$$\bar{V} = \frac{\sum \text{Tegangan}}{n} \quad (3.2)$$

- c. Menghitung rata-rata Arus Listrik:

$$\bar{I} = \frac{\sum \text{Arus}}{n} \quad (3.3)$$

- d. Menghitung nilai Intensitas Cahaya

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$$

$$1 \text{ cd} = 12,57 \text{ lm}$$

- e. Menghitung efisiensi sel surya

1. Mengkonversi nilai iluminasi menjadi intensitas radiasi matahari

$$1 \text{ watt/m}^2 = 683 \text{ lux (Rogalski, A. 2011: 4)}$$

2. Menghitung efisiensi sel surya

$$\eta = \frac{P}{I \times A} \times 100\% \quad (3.4)$$

dimana:

η = efisiensi sel surya

P = daya (watt)

I = intensitas radiasi matahari (watt/m²)

A = Luas permukaan (m²)

- f. Menghitung kesalahan mutlak pengukuran:

1. Menghitung kesalahan mutlak Iluminasi (E):

a) Kesalahan mutlak $\Delta E = \sqrt{\frac{\sum (E-E)^2}{n-1}}$

b) Kesalahan relatif (E) = $\frac{\Delta E}{E} \times 100\%$

c) Keseksamaan = 100% – kesalahan relatif (E)

d) $H_p = \{\bar{E} \pm \Delta E\}$

2. Menghitung kesalahan mutlak Arus (I):

a) Kesalahan mutlak $\Delta I = \sqrt{\frac{\sum (I - \bar{I})^2}{n-1}}$

b) Kesalahan relatif (I) = $\frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$

c) Keseksamaan = $100\% - \text{kesalahan relatif } (I)$

d) $H_p = \{\bar{I} \pm \Delta I\}$

3. Menghitung kesalahan mutlak Tegangan (V):

a) Kesalahan mutlak $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum (V - \bar{V})^2}{n-1}}$

b) Kesalahan relatif (V) = $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$

c) Keseksamaan = $100\% - \text{kesalahan relatif } (V)$

d) $H_p = \{\bar{V} \pm \Delta V\}$

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan selama 3 hari di Laboratorium Fisika Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember pada tanggal 10, 11, dan 24 Februari 2015. Pengambilan data dilakukan setiap satu jam sekali dalam rentang waktu pukul 09.00 – 15.00 WIB. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur listrik yaitu Multimeter dan Luxmeter serta perangkat lainnya seperti Transistor tipe 2N3055 merek Malaysia dan sinar matahari.

Data yang diambil dari penelitian ini adalah besarnya tegangan, arus listrik dan iluminasi. Hasil iluminasi yang didapat dari luxmeter dirubah menjadi intensitas cahaya dengan satuan candela. Besarnya tegangan dan arus listrik di pengaruhi oleh faktor intensitas cahaya. Arus listrik timbul karena perubahan intensitas cahaya yang datang pada rangkaian transistor 2N3055, sedangkan besarnya tegangan listrik dihasilkan dari besarnya intensitas cahaya.

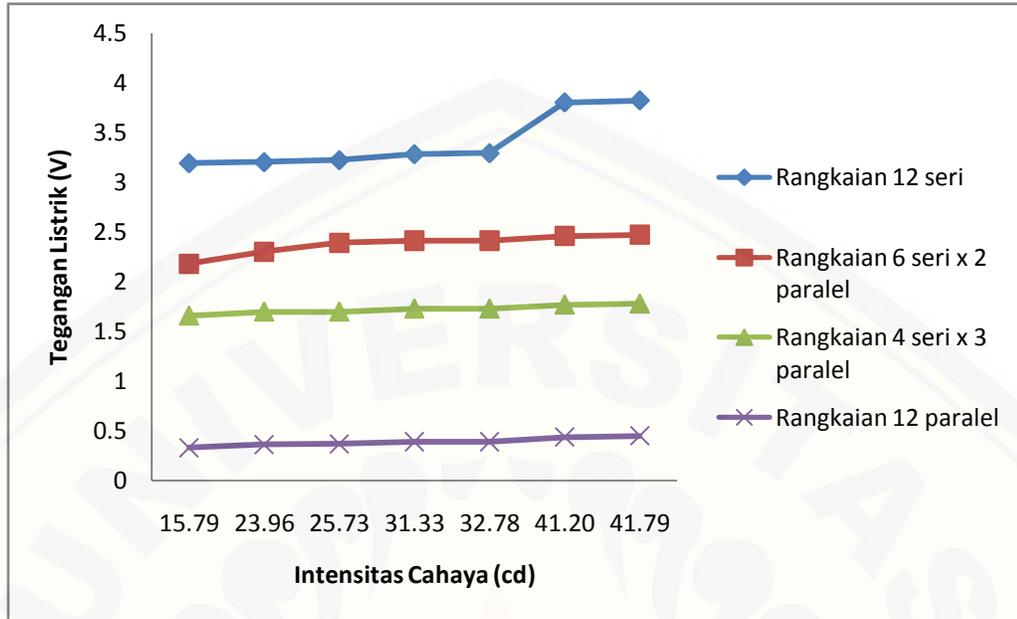
Data hasil pengamatan pada penelitian ini yaitu mengkaji pengaruh intensitas cahaya dan bentuk rancangan sel surya dengan menggunakan transistor tipe 2N3055 terhadap arus dan tegangan yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.1 dimana intensitas cahaya didapatkan melalui hasil perhitungan dari nilai iluminasi. Hasil pengamatan dari penelitian yang dibahas hanya data pada saat kondisi cerah yaitu data yang didapat pada tanggal 24 Februari 2015. Sedangkan data pada tanggal 10 dan 11 Februari 2015 hanya sebagai acuan penelitian saat kondisi cuaca mendung.

Tabel 4.1 Tabel hasil analisis data pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan

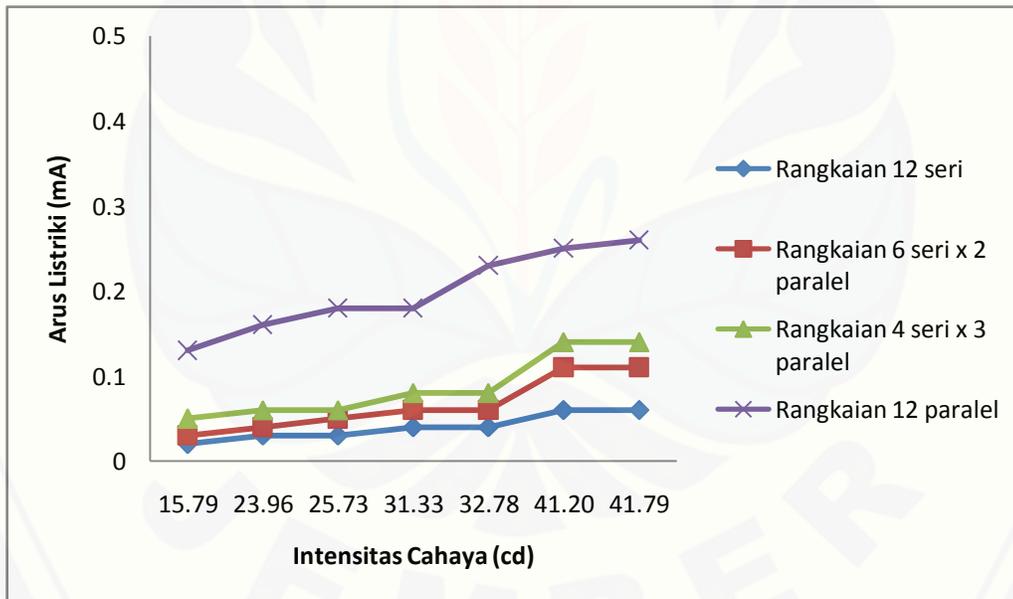
No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iluminansi (Lux)	Rata-rata Iluminansi (Lux)	Intensitas Cahaya (cd)	Rata-rata Intensitas Cahaya (cd)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Efisiensi (η)
1	12 Seri	09.00 WIB	876	859,00	33,43	32,78	3,31	3,29	0,04	0,04	0,022%
			890		33,96		3,30		0,05		
			811		30,95		3,27		0,04		
		10.00 WIB	1096	1095,00	41,82	41,79	3,82	3,82	0,06	0,06	0,030%
			1095		41,79		3,82		0,06		
			1094		41,75		3,81		0,06		
		11.00 WIB	1080	1079,67	41,21	41,20	3,79	3,80	0,06	0,06	0,030%
			1077		41,10		3,79		0,06		
			1082		41,29		3,81		0,06		
		12.00 WIB	635	628,00	24,23	23,96	3,20	3,20	0,03	0,03	0,022%
			629		24,00		3,19		0,03		
			620		23,66		3,20		0,03		
13.00 WIB	656	674,33	25,03	25,73	3,21	3,22	0,02	0,03	0,020%		
	680		25,95		3,22		0,03				
	687		26,22		3,22		0,03				
14.00 WIB	780	821,00	29,76	31,33	3,27	3,28	0,04	0,04	0,023%		
	776		29,61		3,27		0,04				
	907		34,61		3,30		0,04				
15.00 WIB	458	413,67	17,48	15,79	3,20	3,19	0,02	0,02	0,022%		
	435		16,60		3,20		0,02				
	348		13,28		3,16		0,02				
2	6 Seri x 2 Paralel	09.00 WIB	876	859,00	33,43	32,78	2,41	2,41	0,06	0,06	0,024%
			890		33,96		2,42		0,06		
			811		30,95		2,39		0,06		
		10.00 WIB	1096	1095,00	41,82	41,79	2,49	2,47	0,11	0,11	0,035%
			1095		41,79		2,46		0,11		
			1094		41,75		2,46		0,11		

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Illuminasi (Lux)	Rata-rata Illuminasi (Lux)	Intensitas Cahaya (cd)	Rata-rata Intensitas Cahaya (cd)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Efisiensi (η)
3	4 Seri x 3 Paralel	11.00 WIB	1080	1079,67	41,21	41,20	2,46	2,46	0,10	0,11	0,036%
			1077		41,10		2,46		0,11		
			1082		41,29		2,46		0,11		
		12.00 WIB	635	628,00	24,23	23,96	2,43	2,30	0,04	0,04	0,021%
			629		24,00		2,37		0,04		
			620		23,66		2,10		0,04		
		13.00 WIB	656	674,33	25,03	25,73	2,37	2,39	0,05	0,05	0,025%
			680		25,95		2,40		0,05		
			687		26,22		2,40		0,05		
		14.00 WIB	780	821,00	29,76	31,33	2,40	2,41	0,05	0,06	0,025%
			776		29,61		2,40		0,05		
			907		34,61		2,43		0,07		
		15.00 WIB	458	413,67	17,48	15,79	2,22	2,18	0,03	0,03	0,022%
			435		16,60		2,19		0,03		
			348		13,28		2,13		0,03		
		09.00 WIB	876	859,00	33,43	32,78	1,73	1,73	0,08	0,08	0,023%
			890		33,96		1,75		0,09		
			811		30,95		1,72		0,07		
10.00 WIB	1096	1095,00	41,82	41,79	1,78	1,78	0,15	0,14	0,032%		
	1095		41,79		1,78		0,14				
	1094		41,75		1,78		0,14				
11.00 WIB	1080	1079,67	41,21	41,20	1,76	1,77	0,14	0,14	0,033%		
	1077		41,10		1,76		0,14				
	1082		41,29		1,78		0,14				
12.00 WIB	635	628,00	24,23	23,96	1,70	1,70	0,06	0,06	0,023%		
	629		24,00		1,70		0,06				
	620		23,66		1,70		0,06				
13.00 WIB	656	674,33	25,03	25,73	1,70	1,70	0,06	0,06	0,022%		
	680		25,95		1,70		0,06				
	687		26,22		1,70		0,06				

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Illuminansi (Lux)	Rata-rata Illuminansi (Lux)	Intensitas Cahaya (cd)	Rata-rata Intensitas Cahaya (cd)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Efisiensi (η)
4	12 Paralel	14.00 WIB	780	821,00	29,76	31,33	1,72	1,73	0,07	0,08	0,024%
			776		29,61		1,73		0,07		
			907		34,61		1,75		0,09		
		15.00 WIB	458	413,67	17,48	15,79	1,67	1,66	0,05	0,05	0,029%
			435		16,60		1,67		0,05		
			348		13,28		1,65		0,04		
		09.00 WIB	876	859,00	33,43	32,78	0,40	0,39	0,24	0,23	0,015%
			890		33,96		0,40		0,23		
			811		30,95		0,38		0,22		
		10.00 WIB	1096	1095,00	41,82	41,79	0,45	0,45	0,26	0,26	0,015%
			1095		41,79		0,45		0,26		
			1094		41,75		0,44		0,26		
		11.00 WIB	1080	1079,67	41,21	41,20	0,44	0,44	0,25	0,25	0,014%
			1077		41,10		0,43		0,25		
			1082		41,29		0,44		0,26		
		12.00 WIB	635	628,00	24,23	23,96	0,36	0,36	0,16	0,16	0,013%
			629		24,00		0,36		0,16		
			620		23,66		0,35		0,16		
13.00 WIB	656	674,33	25,03	25,73	0,36	0,37	0,17	0,18	0,014%		
	680		25,95		0,37		0,18				
	687		26,22		0,37		0,18				
14.00 WIB	780	821,00	29,76	31,33	0,38	0,39	0,18	0,18	0,012%		
	776		29,61		0,38		0,18				
	907		34,61		0,40		0,18				
15.00 WIB	458	413,67	17,48	15,79	0,33	0,33	0,13	0,13	0,015%		
	435		16,60		0,33		0,13				
	348		13,28		0,33		0,13				



Grafik 4.1 Hubungan intensitas cahaya terhadap tegangan listrik



Grafik 4.2 Hubungan intensitas cahaya terhadap arus listrik



Grafik 4.3 Hubungan waktu terhadap intensitas cahaya

4.2 Pembahasan

Penelitian ini memanfaatkan perubahan energi yaitu energi cahaya menjadi energi listrik. Energi cahaya yang dimanfaatkan adalah energi yang dipancarkan oleh matahari. Penelitian ini sangat bergantung pada kondisi cuaca, karena penelitian dilakukan di luar ruangan yang membutuhkan sinar matahari langsung untuk mengenai transistor.

Penelitian ini menggunakan 4 rangkaian seri-paralel yang berbeda dengan jumlah transistor masing-masing 12 biji yang tersusun di atas *project board*. Dari keempat rangkaian tersebut menerima perlakuan yang sama dengan mengukur tegangan keluaran dan arus yang dihasilkan oleh transistor 2N3055 dengan menggunakan multimeter serta mengukur iluminasi dengan menggunakan luxmeter. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.1 dan grafik hubungan intensitas cahaya terhadap tegangan dan arus listrik masing-masing rangkaian pada grafik 4.1 – 4.3.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, rangkaian yang menghasilkan beda potensial paling tinggi adalah rangkaian 12 seri. Hal ini dikarenakan sambungan transistor secara seri mendapatkan penguatan yang tinggi

dan hasil penguatan pada transistor yang pertama akan dikuatkan lebih lanjut oleh transistor selanjutnya, sehingga rangkaian 12 seri mendapatkan penguatan tegangan lebih besar dari rangkaian lain. Hal ini didukung dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Taufiq Roisy Hidayat (2013) dengan judul “Rancang Bangun Optimasi Sel Surya Menggunakan Transistor 2N3055 Bekas Berbasis Atmega 16” menunjukkan bahwa berdasarkan hukum kirchoff II “Didalam suatu rangkaian tertutup jumlah aljabar gaya gerak listrik dengan penurunan tegangan sama dengan nol”

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n - E = 0 \text{ atau } E = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Sambungan seri memiliki keuntungan tegangan menjadi lebih besar namun arus listrik yang dihasilkan kecil.

Rangkaian yang menghasilkan beda potensial paling rendah adalah rangkaian 12 paralel. Hal ini dikarena rangkaian 12 paralel tidak mendapat penguatan sehingga menghasilkan beda potensial yang kecil, namun rangkaian ini menghasilkan arus listrik yang paling besar. Hal ini dikarenakan transistor yang disusun secara paralel besarnya kapasitas atau kemampuan mengalirkan arus listrik transistor akan dinaikan berlipat sehingga rangkaian 12 paralel memiliki kelebihan kemampuan mengalirkan arus listrik lebih besar dari rangkaian yang lainnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Taufiq Roisy Hidayat (2013) menunjukkan bahwa sambungan paralel memiliki keuntungan arus listrik menjadi lebih besar namun tegangannya yang dihasilkan kecil. Hal ini sesuai dengan hukum kirchoff I

$$I_{total} = I_{tr\ 1} + I_{tr\ 2} + \dots + I_{tr\ n}$$

Pembahasan selanjutnya yaitu mengkaji pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh rangkaian transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya. Berdasarkan teori dijelaskan bahwa cahaya merupakan paket energi, jika dijatuhkan pada semikonduktor (transistor 2N3055) dapat meloncatkan elektron valensi yang berada pada pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Elektron bebas yang berlebihan pada semikonduktor jenis N akan mengisi

lubang pada semikonduktor jenis P, demikian seterusnya sehingga dapat menghasilkan arus listrik melalui sambungan luar. Semakin banyak energi surya yang datang pada semikonduktor semakin banyak pula elektron bebas yang ditimbulkan. Grafik 4.3 menunjukkan bahwa intensitas cahaya rata-rata paling tinggi pada saat pukul 10.00 WIB. Intensitas cahaya mengalami penurunan drastis pada saat pukul 12.00 WIB, hal ini dikarenakan matahari tertutup awan sehingga intensitas cahaya yang dipancarkan matahari terhalang dan mengakibatkan penurunan intensitas cahaya yang diterima oleh transistor. Intensitas cahaya mengalami peningkatan lagi hingga pukul 14.00 WIB. Grafik 4.1 menunjukkan bahwa beda potensial maksimal yang didapat pada penelitian ini adalah sebesar 3,82 V yaitu pada saat intensitas cahaya 41,79 cd. Intensitas yang meningkat secara signifikan menyebabkan beda potensial yang dihasilkan meningkat pula.

Grafik 4.2 menunjukkan bahwa arus listrik maksimal yang dihasilkan adalah 0,26 mA yaitu pada saat intensitas 41,79 cd. Intensitas yang meningkat secara signifikan menyebabkan arus listrik yang dihasilkan meningkat pula.

Sifat hantaran suatu bahan bergantung pada jumlah elektron bebas dalam bahan tersebut, sedangkan sifat kehantaran suatu bahan berbanding terbalik dengan sifat kehantaran dari bahan tersebut. Dengan kata lain jika suatu bahan sifat hantarannya naik, maka tahanan bahan tersebut akan turun. Hal ini berlaku pada semikonduktor pada penelitian ini. Kenaikan intensitas cahaya yang datang pada transistor 2N3055 menyebabkan semakin banyak elektron bebas pada bahan transistor tersebut sehingga semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh transistor 2N3055 akan menghasilkan tegangan dan arus listrik yang lebih besar pula.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- a. Bentuk rancangan sel surya mempengaruhi arus dan tegangan yang dihasilkan. Rangkaian 12 seri menghasilkan tegangan rata-rata paling besar yakni 3,82 V namun arus rata-rata yang dihasilkan paling kecil yakni 0,06 mA, rangkaian 6 seri x 2 paralel menghasilkan tegangan rata-rata 2,47 V dan arus rata-rata 0,11 mA, rangkaian 4 seri x 3 paralel menghasilkan tegangan rata-rata 1,78 V dan arus rata-rata 0,14 mA, dan rangkaian 12 paralel menghasilkan tegangan rata-rata paling kecil yakni 0,45 V namun arus rata-rata yang dihasilkan paling besar yakni 0,26 mA dalam intensitas yang sama sebesar 41,79 cd.
- b. Intensitas cahaya mempengaruhi arus dan tegangan yang dihasilkan. Semakin tinggi intensitas cahaya yang mengenai transistor 2N3055 maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan semakin besar pula, hal ini terjadi apabila intensitas cahaya mengalami perubahan yang signifikan.

5.2 Saran

Untuk mengetahui keefektifan sel surya dengan menggunakan transistor 2N3055 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. Menggunakan transistor 2N3055 yang memiliki bahan semikonduktornya lebar supaya hasil keluaran tegangan dan arus listriknya besar.

DAFTAR BACAAN

- Arifianto, D. 2011. *Kamus Komponen Elektronika*. Jakarta: PT Kawan Pustaka
- Ariswan. 2011. Prospek Penelitian Dan Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia. Yogyakarta. *Universitas Negeri Yogyakarta*
- 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: *Jurnal Universitas Negeri Yogyakarta*
- Joseph A. Edminister dan Mahmood Nahvi, Ph.D. 2004. *Rangkaian Listrik [Edisi Keempat]*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Kurnia, C. T. 2010. *Instalasi Cahaya*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Malvino, A. P. 2003. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknika
- 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
- Patayang, Mika. 2009. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-8609-2107202001-BAB%20I.pdf>. Diakses pada tanggal 3 April 2014
- 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.
- Purnama, Agus. 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 2014
- _____. 2012. Elektronika Dasar. <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/meningkatkan-kemampuan-transistor/>. Diakses pada tanggal 12

Desember 2014

- Rogalski, A. 2011. *Infrared Detectors, [second edition]*. Boca Raton : Taylor & Francis Group
- Serway, R. A., dan Jhon. W. Jewett. 2010. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknika
- 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
- _____. 1999. *Diktat Kuliah Sel Surya*. Jember: Universitas Jember
- Wenzig, U. 2012. *Modul Pembelajaran Hemat Energi*. Jakarta: GIZ - German International Cooperation
- Widayati, Sri. 2014. Letak Geografis Indonesia. www.g-excess.com/Letak-Geografis-Indonesia.html. Diakses pada tanggal 10 Juli 2015
- 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. Diakses pada tanggal 12 Desember 2014
- 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

LAMPIRAN A. MATIRIK PENELITIAN

JUDUL	RUMUSAN MASALAH	VARIABEL	INDIKATOR	SUMBER DATA	METODOLOGI PENELITIAN
Rancang Bangun Sel Surya Dengan Menggunakan Transistor Tipe 2N3055	<p>1. Bagaimana pengaruh bentuk rancangan sel surya dengan menggunakan transistor tipe 2N3055 terhadap arus (I) dan tegangan (V)?</p> <p>2. Bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh rangkaian transistor tipe 2N3055 sebagai sel surya?</p>	<p>Variabel Bebas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensitas <p>Variabel kontrol :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transistor Tipe 2N3055 • Rangkaian transistor 2N3055 <p>Variabel Terikat :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tegangan • Arus 	<p>a. Itensitas Cahaya</p> <p>b. Rangkaian transistor 2N3055</p> <p>c. Tegangan</p> <p>d. Arus</p>	<p>1. Hasil percobaan</p> <p>2. Pustaka yang relevan</p>	<p>Rancangan penelitian : Penelitian eksperimen</p> <p>Tempat penelitian : Gedung 3 FKIP Universitas Jember</p> <p>Teknik pengumpulan data : Data didapat dari hasil percobaan</p>

LAMPIRAN B. DATA HASIL PENGAMATAN

Tabel hasil pengamatan hari pertama pada tanggal 10 Februari 2015 dalam kondisi cuaca mendung

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Illuminansi (Lux)	Rata-rata Illuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
1	12 Seri	09.00 WIB	442	460.33	3.19	3.20	0.02	0.0200
			469		3.20		0.02	
			470		3.20		0.02	
		10.00 WIB	899	888.67	3.31	3.31	0.05	0.0500
			883		3.31		0.05	
			884		3.31		0.05	
		11.00 WIB	592	602.33	3.22	3.22	0.03	0.0300
			615		3.22		0.03	
			600		3.22		0.03	
		12.00 WIB	877	802.00	3.31	3.29	0.05	0.0467
			880		3.31		0.05	
			649		3.26		0.04	
		13.00 WIB	890	902.33	3.32	3.32	0.05	0.0500
			915		3.32		0.05	
			902		3.32		0.05	
		14.00 WIB	23	25.33	0.21	0.21	0.0001	0.0001
			28		0.21		0.0001	
			25		0.21		0.0001	
15.00 WIB	22	22.33	0.20	0.20	0.0001	0.0001		
	23		0.20		0.0001			
	22		0.20		0.0001			
2	6 Seri x 2 Paralel	09.00 WIB	442	460.33	2.20	2.21	0.03	0.0300
			469		2.21		0.03	
			470		2.21		0.03	
		10.00 WIB	899	888.67	2.41	2.41	0.06	0.0600
			883		2.41		0.06	
			884		2.41		0.06	

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
3	4 Seri x 3 Paralel	11.00 WIB	592	602.33	2.35	2.35	0.05	0.0500
			615		2.36		0.05	
			600		2.35		0.05	
		12.00 WIB	877	802.00	2.41	2.40	0.06	0.0567
			880		2.41		0.06	
			649		2.38		0.05	
		13.00 WIB	890	902.33	2.41	2.42	0.060	0.0600
			915		2.42		0.060	
			902		2.42		0.060	
		14.00 WIB	23	25.33	0.09	0.09	0.001	0.0010
			28		0.09		0.001	
			25		0.09		0.001	
		15.00 WIB	22	22.33	0.09	0.09	0.001	0.0010
			23		0.09		0.001	
			22		0.09		0.001	
		09.00 WIB	442	460.33	1.66	1.66	0.04	0.0400
			469		1.66		0.04	
			470		1.66		0.04	
10.00 WIB	899	888.67	1.75	1.75	0.08	0.0800		
	883		1.75		0.08			
	884		1.75		0.08			
11.00 WIB	592	602.33	1.68	1.68	0.06	0.0600		
	615		1.68		0.06			
	600		1.68		0.06			
12.00 WIB	877	802.00	1.75	1.73	0.08	0.0733		
	880		1.75		0.08			
	649		1.70		0.06			
13.00 WIB	890	902.33	1.76	1.76	0.08	0.0800		
	915		1.76		0.08			
	902		1.76		0.08			

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
4	12 Paralel	14.00 WIB	23	25.33	0.06	0.06	0.002	0.0020
			28		0.06		0.002	
			25		0.06		0.002	
		15.00 WIB	22	22.33	0.06	0.06	0.002	0.0020
			23		0.06		0.002	
			22		0.06		0.002	
		09.00 WIB	442	460.33	0.32	0.32	0.13	0.1300
			469		0.32		0.13	
			470		0.32		0.13	
		10.00 WIB	899	888.67	0.40	0.40	0.23	0.2300
			883		0.40		0.23	
			884		0.40		0.23	
		11.00 WIB	592	602.33	0.34	0.34	0.17	0.1700
			615		0.34		0.17	
			600		0.34		0.17	
		12.00 WIB	877	802.00	0.40	0.39	0.23	0.2200
			880		0.40		0.23	
			649		0.36		0.20	
		13.00 WIB	890	902.33	0.40	0.41	0.23	0.2300
			915		0.41		0.23	
			902		0.41		0.23	
		14.00 WIB	23	25.33	0.01	0.01	0.01	0.0100
			28		0.01		0.01	
			25		0.01		0.01	
15.00 WIB	22	22.33	0.01	0.01	0.01	0.0100		
	23		0.01		0.01			
	22		0.01		0.01			

Tabel hasil pengamatan hari kedua pada tanggal 11 Februari 2015 dalam kondisi cuaca berawan

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
1	12 Seri	09.00 WIB	1083	1083.33	3.79	3.79	0.05	0.0533
			1080		3.79		0.05	
			1087		3.80		0.06	
		10.00 WIB	1090	1088.67	3.81	3.80	0.06	0.0600
			1087		3.79		0.06	
			1089		3.80		0.06	
		11.00 WIB	680	678.67	3.24	3.23	0.03	0.0300
			676		3.22		0.03	
			680		3.23		0.03	
		12.00 WIB	421	444.67	3.18	3.19	0.02	0.0200
			434		3.19		0.02	
			479		3.20		0.02	
		13.00 WIB	155	139.67	1.39	1.36	0.0002	0.0002
			137		1.36		0.0002	
			127		1.34		0.0002	
14.00 WIB	29	28.67	0.24	0.23	0.0001	0.0001		
	28		0.23		0.0001			
	29		0.23		0.0001			
15.00 WIB	-	-	-	-	-	-		
	-		-		-			
	-		-		-			
2	6 Seri x 2 Paralel	09.00 WIB	1083	859.00	2.45	2.45	0.11	0.0600
			1080		2.45		0.11	
			1087		2.45		0.11	
		10.00 WIB	1090	1095.00	2.46	2.46	0.11	0.1100
			1087		2.45		0.11	
			1089		2.46		0.11	

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
		11.00 WIB	680	1079.67	2.39	2.38	0.05	0.1100
			676		2.37		0.05	
			680		2.37		0.05	
		12.00 WIB	421	628.00	2.19	2.20	0.03	0.0400
			434		2.20		0.03	
			479		2.22		0.03	
		13.00 WIB	155	674.33	0.76	0.75	0.003	0.0030
			137		0.75		0.003	
			127		0.75		0.003	
		14.00 WIB	29	821.00	0.12	0.12	0.001	0.0010
			28		0.12		0.001	
			29		0.12		0.001	
		15.00 WIB	-	-	-	-	-	-
			-		-		-	
			-		-		-	
3	4 Seri x 3 Paralel	09.00 WIB	1083	859.00	1.76	1.76	0.14	0.0800
			1080		1.76		0.14	
			1087		1.76		0.14	
		10.00 WIB	1090	1095.00	1.78	1.78	0.14	0.1400
			1087		1.77		0.14	
			1089		1.78		0.14	
		11.00 WIB	680	1079.67	1.70	1.70	0.06	0.1400
			676		1.70		0.06	
			680		1.70		0.06	
		12.00 WIB	421	628.00	1.65	1.66	0.04	0.0600
			434		1.65		0.04	
			479		1.67		0.04	
		13.00 WIB	155	674.33	0.54	0.53	0.01	0.0600
			137		0.53		0.01	
			127		0.53		0.01	

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	
4	12 Paralel	14.00 WIB	29	821.00	0.07	0.07	0.002	0.0800	
			28		0.07		0.002		
			29		0.07		0.002		
		15.00 WIB	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-
		09.00 WIB	1083	859.00	0.44	0.44	0.24	0.2300	
			1080		0.43		0.24		
			1087		0.44		0.24		
		10.00 WIB	1090	1095.00	0.45	0.45	0.24	0.2600	
			1087		0.45		0.24		
			1089		0.45		0.24		
		11.00 WIB	680	1079.67	0.36	0.36	0.18	0.2500	
			676		0.36		0.18		
			680		0.36		0.18		
		12.00 WIB	421	628.00	0.32	0.32	0.13	0.1600	
			434		0.32		0.13		
			479		0.33		0.13		
		13.00 WIB	155	674.33	0.02	0.02	0.02	0.1800	
			137		0.02		0.02		
			127		0.02		0.02		
		14.00 WIB	29	821.00	0.01	0.01	0.01	0.1800	
			28		0.01		0.01		
			29		0.01		0.01		
15.00 WIB	-	-	-	-	-	-			
	-	-	-	-	-	-			
	-	-	-	-	-	-			

Tabel hasil pengamatan hari ketiga pada tanggal 24 Februari 2015 dalam kondisi cuaca cerah

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
1	12 Seri	09.00 WIB	876	859	3.31	3.29	0.04	0.04
			890		3.3		0.05	
			811		3.27		0.04	
		10.00 WIB	1096	1095	3.82	3.82	0.06	0.06
			1095		3.82		0.06	
			1094		3.81		0.06	
		11.00 WIB	1080	1079.67	3.79	3.8	0.06	0.06
			1077		3.79		0.06	
			1082		3.81		0.06	
		12.00 WIB	635	628	3.2	3.2	0.03	0.03
			629		3.19		0.03	
			620		3.2		0.03	
		13.00 WIB	656	674.33	3.21	3.22	0.02	0.03
			680		3.22		0.03	
			687		3.22		0.03	
14.00 WIB	780	821	3.27	3.28	0.04	0.04		
	776		3.27		0.04			
	907		3.3		0.04			
15.00 WIB	458	413.67	3.2	3.19	0.02	0.02		
	435		3.2		0.02			
	348		3.16		0.02			
2	6 Seri x 2 Paralel	09.00 WIB	876	859	2.41	2.41	0.06	0.06
			890		2.42		0.06	
			811		2.39		0.06	
		10.00 WIB	1096	1095	2.49	2.47	0.11	0.11
			1095		2.46		0.11	
			1094		2.46		0.11	

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Illuminasi (Lux)	Rata-rata Illuminasi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
3	4 Seri x 3 Paralel	11.00 WIB	1080	1079.67	2.46	2.46	0.1	0.11
			1077		2.46		0.11	
			1082		2.46		0.11	
		12.00 WIB	635	628	2.43	2.3	0.04	0.04
			629		2.37		0.04	
			620		2.1		0.04	
		13.00 WIB	656	674.33	2.37	2.39	0.05	0.05
			680		2.4		0.05	
			687		2.4		0.05	
		14.00 WIB	780	821	2.4	2.41	0.05	0.06
			776		2.4		0.05	
			907		2.43		0.07	
		15.00 WIB	458	413.67	2.22	2.18	0.03	0.03
			435		2.19		0.03	
			348		2.13		0.03	
		09.00 WIB	876	859	1.73	1.73	0.08	0.08
			890		1.75		0.09	
			811		1.72		0.07	
10.00 WIB	1096	1095	1.78	1.78	0.15	0.14		
	1095		1.78		0.14			
	1094		1.78		0.14			
11.00 WIB	1080	1079.67	1.76	1.77	0.14	0.14		
	1077		1.76		0.14			
	1082		1.78		0.14			
12.00 WIB	635	628	1.7	1.7	0.06	0.06		
	629		1.7		0.06			
	620		1.7		0.06			
13.00 WIB	656	674.33	1.7	1.7	0.06	0.06		
	680		1.7		0.06			
	687		1.7		0.06			

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Iuminansi (Lux)	Rata-rata Iuminansi (Lux)	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)
4	12 Paralel	14.00 WIB	780	821	1.72	1.73	0.07	0.08
			776		1.73		0.07	
			907		1.75		0.09	
		15.00 WIB	458	413.67	1.67	1.66	0.05	0.05
			435		1.67		0.05	
			348		1.65		0.04	
		09.00 WIB	876	859	0.4	0.39	0.24	0.23
			890		0.4		0.23	
			811		0.38		0.22	
		10.00 WIB	1096	1095	0.45	0.45	0.26	0.26
			1095		0.45		0.26	
			1094		0.44		0.26	
		11.00 WIB	1080	1079.67	0.44	0.44	0.25	0.25
			1077		0.43		0.25	
			1082		0.44		0.26	
		12.00 WIB	635	628	0.36	0.36	0.16	0.16
			629		0.36		0.16	
			620		0.35		0.16	
		13.00 WIB	656	674.33	0.36	0.37	0.17	0.18
			680		0.37		0.18	
			687		0.37		0.18	
		14.00 WIB	780	821	0.38	0.39	0.18	0.18
			776		0.38		0.18	
			907		0.4		0.18	
15.00 WIB	458	413.67	0.33	0.33	0.13	0.13		
	435		0.33		0.13			
	348		0.33		0.13			

LAMPIRAN C. ANALISIS PERHITUNGAN**1. Perhitungan rata-rata iluminasi berdasarkan waktu pengambilan data**

a. Jam 09.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{876 + 890 + 811}{3} = 859 \text{ Lux}$$

b. Jam 10.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{1096 + 1095 + 1094}{3} = 1095 \text{ Lux}$$

c. Jam 11.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{1080 + 1077 + 1082}{3} = 1079,67 \text{ Lux}$$

d. Jam 12.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{635 + 629 + 620}{3} = 628 \text{ Lux}$$

e. Jam 13.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{656 + 680 + 687}{3} = 674,33 \text{ Lux}$$

f. Jam 14.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{780 + 776 + 907}{3} = 821 \text{ Lux}$$

g. Jam 15.00 WIB

$$\bar{E} = \frac{458 + 435 + 348}{3} = 413,67 \text{ Lux}$$

2. Perhitungan rata-rata tegangan listrik

a. Rangkaian 12 seri

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,31 + 3,30 + 3,27}{3} = 3,29 \text{ V}$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,82 + 3,82 + 3,81}{3} = 3,82 \text{ V}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,79 + 3,79 + 3,81}{3} = 3,80 \text{ V}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,20 + 3,19 + 3,20}{3} = 3,20 \text{ V}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,21 + 3,22 + 3,22}{3} = 3,22 \text{ V}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,27 + 3,27 + 3,30}{3} = 3,28 \text{ V}$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{3,20 + 3,20 + 3,16}{3} = 3,19 \text{ V}$$

b. Rangkaian 6 seri x 2 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,41 + 2,42 + 2,39}{3} = 2,41 \text{ V}$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,49 + 2,46 + 2,46}{3} = 2,47 \text{ V}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,46 + 2,46 + 2,46}{3} = 2,46 \text{ V}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,43 + 2,37 + 2,10}{3} = 2,30 \text{ V}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,37 + 2,40 + 2,40}{3} = 2,39 \text{ V}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,40 + 2,40 + 2,43}{3} = 2,41 V$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{2,22 + 2,19 + 2,13}{3} = 2,18 V$$

c. Rangkaian 4 seri x 3 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,73 + 1,75 + 1,72}{3} = 1,73 V$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,78 + 1,78 + 1,78}{3} = 1,78 V$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,76 + 1,76 + 1,78}{3} = 1,77 V$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,70 + 1,70 + 1,70}{3} = 1,70 V$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,70 + 1,70 + 1,70}{3} = 1,70 V$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,72 + 1,73 + 1,75}{3} = 1,73 V$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{1,67 + 1,67 + 1,65}{3} = 1,66 V$$

d. Rangkaian 12 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,40 + 0,40 + 0,38}{3} = 0,39 V$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,45 + 0,45 + 0,44}{3} = 0,45 \text{ V}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,44 + 0,43 + 0,44}{3} = 0,44 \text{ V}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,36 + 0,36 + 0,35}{3} = 0,36 \text{ V}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,36 + 0,37 + 0,37}{3} = 0,37 \text{ V}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,38 + 0,38 + 0,40}{3} = 0,39 \text{ V}$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{V} = \frac{0,33 + 0,33 + 0,33}{3} = 0,33 \text{ V}$$

3. Perhitungan rata-rata arus listrik

a. Rangkaian 12 seri

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,04 + 0,05 + 0,04}{3} = 0,04 \text{ mA}$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,06 + 0,06 + 0,06}{3} = 0,06 \text{ mA}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,06 + 0,06 + 0,06}{3} = 0,06 \text{ mA}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,03 + 0,03 + 0,03}{3} = 0,03 \text{ mA}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,02 + 0,03 + 0,03}{3} = 0,03 \text{ mA}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,04 + 0,04 + 0,04}{3} = 0,04 \text{ mA}$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,02 + 0,02 + 0,02}{3} = 0,02 \text{ mA}$$

b. Rangkaian 6 seri x 2 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,06 + 0,06 + 0,06}{3} = 0,06 \text{ mA}$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,11 + 0,11 + 0,11}{3} = 0,11 \text{ mA}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,10 + 0,11 + 0,11}{3} = 0,11 \text{ mA}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,04 + 0,04 + 0,04}{3} = 0,04 \text{ mA}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,05 + 0,05 + 0,05}{3} = 0,05 \text{ mA}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,05 + 0,05 + 0,07}{3} = 0,06 \text{ mA}$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,04 + 0,04 + 0,03}{3} = 0,03 \text{ mA}$$

c. Rangkaian 4 seri x 3 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,08 + 0,09 + 0,07}{3} = 0,08 \text{ mA}$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,15 + 0,14 + 0,14}{3} = 0,14 \text{ mA}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,14 + 0,14 + 0,14}{3} = 0,14 \text{ mA}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,06 + 0,06 + 0,06}{3} = 0,06 \text{ mA}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,06 + 0,06 + 0,06}{3} = 0,06 \text{ mA}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,07 + 0,07 + 0,09}{3} = 0,08 \text{ mA}$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,05 + 0,05 + 0,04}{3} = 0,05 \text{ mA}$$

d. Rangkaian 12 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,24 + 0,23 + 0,22}{3} = 0,23 \text{ mA}$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,26 + 0,26 + 0,26}{3} = 0,26 \text{ mA}$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,25 + 0,25 + 0,26}{3} = 0,25 \text{ mA}$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,16 + 0,16 + 0,16}{3} = 0,16 \text{ mA}$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,17 + 0,18 + 0,18}{3} = 0,18 \text{ mA}$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,18 + 0,18 + 0,18}{3} = 0,18 \text{ mA}$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{0,13 + 0,13 + 0,13}{3} = 0,13 \text{ mA}$$

4. Perhitung nilai intensitas cahaya

a. Jam 09.00 WIB

1) $876 \text{ lux} = 876 \text{ lm/m}^2$

$$876 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 420,48 \text{ lm}$$

$$420,48 \text{ lm} = 33,43 \text{ cd}$$

2) $890 \text{ lux} = 890 \text{ lm/m}^2$

$$890 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 427,20 \text{ lm}$$

$$427,20 \text{ lm} = 33,96 \text{ cd}$$

3) $811 \text{ lux} = 811 \text{ lm/m}^2$

$$811 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 389,28 \text{ lm}$$

$$389,28 \text{ lm} = 30,95 \text{ cd}$$

b. Jam 10.00 WIB

1) $1096 \text{ lux} = 1096 \text{ lm/m}^2$

$$1096 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 526,08 \text{ lm}$$

$$526,08 \text{ lm} = 41,82 \text{ cd}$$

2) $1095 \text{ lux} = 1095 \text{ lm/m}^2$

$$1095 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 525,60 \text{ lm}$$

$$525,60 \text{ lm} = 41,79 \text{ cd}$$

3) $1094 \text{ lux} = 1094 \text{ lm/m}^2$

$$1094 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 525,12 \text{ lm}$$

$$525,12 \text{ lm} = 41,75 \text{ cd}$$

c. Jam 11.00 WIB

1) $1080 \text{ lux} = 1080 \text{ lm/m}^2$

$$1080 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 518,40 \text{ lm}$$

$$518,40 \text{ lm} = 41,21 \text{ cd}$$

2) $1077 \text{ lux} = 1077 \text{ lm/m}^2$

$$1077 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 516,96 \text{ lm}$$

$$516,96 \text{ lm} = 41,10 \text{ cd}$$

3) $1082 \text{ lux} = 1082 \text{ lm/m}^2$

$$1082 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 519,36 \text{ lm}$$

$$519,36 \text{ lm} = 41,29 \text{ cd}$$

d. Jam 12.00 WIB

1) $635 \text{ lux} = 635 \text{ lm/m}^2$

$$635 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 304,80 \text{ lm}$$

$$304,80 \text{ lm} = 24,23 \text{ cd}$$

2) $629 \text{ lux} = 629 \text{ lm/m}^2$

$$629 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 301,92 \text{ lm}$$

$$301,92 \text{ lm} = 24,00 \text{ cd}$$

3) $620 \text{ lux} = 620 \text{ lm/m}^2$

$$620 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 297,60 \text{ lm}$$

$$297,60 \text{ lm} = 26,66 \text{ cd}$$

e. Jam 13.00 WIB

1) $656 \text{ lux} = 656 \text{ lm/m}^2$

$$656 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 314,88 \text{ lm}$$

$$314,88 \text{ lm} = 25,03 \text{ cd}$$

2) $680 \text{ lux} = 680 \text{ lm/m}^2$

$$680 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 326,40 \text{ lm}$$

$$326,40 \text{ lm} = 25,95 \text{ cd}$$

3) $687 \text{ lux} = 687 \text{ lm/m}^2$

$$687 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 329,76 \text{ lm}$$

$$329,76 \text{ lm} = 26,22 \text{ cd}$$

f. Jam 14.00 WIB

1) $780 \text{ lux} = 780 \text{ lm/m}^2$

$$780 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 374,40 \text{ lm}$$

$$374,40 \text{ lm} = 29,76 \text{ cd}$$

2) $776 \text{ lux} = 776 \text{ lm/m}^2$

$$776 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 372,48 \text{ lm}$$

$$372,48 \text{ lm} = 29,61 \text{ cd}$$

3) $907 \text{ lux} = 907 \text{ lm/m}^2$

$$907 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 435,36 \text{ lm}$$

$$435,36 \text{ lm} = 34,61 \text{ cd}$$

g. Jam 15.00 WIB

4) $458 \text{ lux} = 458 \text{ lm/m}^2$

$$458 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 219,84 \text{ lm}$$

$$219,84 \text{ lm} = 17,48 \text{ cd}$$

5) $435 \text{ lux} = 435 \text{ lm/m}^2$

$$435 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 208,80 \text{ lm}$$

$$208,80 \text{ lm} = 16,60 \text{ cd}$$

6) $348 \text{ lux} = 348 \text{ lm/m}^2$

$$348 \text{ lm/m}^2 \times 0,48 \text{ m}^2 = 167,04 \text{ lm}$$

$$167,04 \text{ lm} = 13,28 \text{ cd}$$

5. Perhitungan rata-rata intensitas cahaya

1. Jam 09.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{33,41 + 33,96 + 30,95}{3} = 32,78 \text{ cd}$$

2. Jam 10.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{41,82 + 41,79 + 41,75}{3} = 41,79 \text{ cd}$$

3. Jam 11.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{41,21 + 41,10 + 41,29}{3} = 41,20 \text{ cd}$$

4. Jam 12.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{24,23 + 24,00 + 23,66}{3} = 23,96 \text{ cd}$$

5. Jam 13.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{25,03 + 25,95 + 26,22}{3} = 25,73 \text{ cd}$$

6. Jam 14.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{29,76 + 29,61 + 34,61}{3} = 31,33 \text{ cd}$$

7. Jam 15.00 WIB

$$\bar{I} = \frac{17,48 + 16,60 + 13,28}{3} = 15,79 \text{ cd}$$

6. konversi nilai iluminasi menjadi radiasi matahari

1. Iluminasi rata-rata jam 09.00 WIB

$$859 \text{ lux} = 1,258 \text{ watt/m}^2$$

2. Iluminasi rata-rata jam 10.00 WIB

$$1095 \text{ lux} = 1,603 \text{ watt/m}^2$$

3. Iluminasi rata-rata jam 11.00 WIB

$$1079,67 \text{ lux} = 1,581 \text{ watt/m}^2$$

4. Iluminasi rata-rata jam 12.00 WIB

$$628 \text{ lux} = 0,919 \text{ watt/m}^2$$

5. Iluminasi rata-rata jam 13.00 WIB

$$674,33 \text{ lux} = 0,987 \text{ watt/m}^2$$

6. Iluminasi rata-rata jam 14.00 WIB

$$821 \text{ lux} = 1,202 \text{ watt/m}^2$$

7. Iluminasi rata-rata jam 15.00 WIB

$$413,67 \text{ lux} = 0,606 \text{ watt/m}^2$$

7. Perhitungan nilai efisiensi

- a. Rangkaian 12 seri

- 1) Jam 09.00 WIB

$$\eta = \frac{3,29 \times 4 \times 10^{-5}}{1,258 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,022\%$$

- 2) Jam 10.00 WIB

$$\eta = \frac{3,82 \times 6 \times 10^{-5}}{1,603 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,030\%$$

- 3) Jam 11.00 WIB

$$\eta = \frac{3,80 \times 6 \times 10^{-5}}{1,581 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,030\%$$

- 4) Jam 12.00 WIB

$$\eta = \frac{3,20 \times 3 \times 10^{-5}}{0,919 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,022\%$$

- 5) Jam 13.00 WIB

$$\eta = \frac{3,22 \times 3 \times 10^{-5}}{0,987 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,020\%$$

- 6) Jam 14.00 WIB

$$\eta = \frac{3,28 \times 4 \times 10^{-5}}{1,202 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,023\%$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\eta = \frac{3,19 \times 2 \times 10^{-5}}{0,606 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,022\%$$

b. Rangkaian 6 seri x 2 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\eta = \frac{2,41 \times 6 \times 10^{-5}}{1,258 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,024\%$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\eta = \frac{2,47 \times 11 \times 10^{-5}}{1,603 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,035\%$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\eta = \frac{2,46 \times 11 \times 10^{-5}}{1,581 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,036\%$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\eta = \frac{2,30 \times 4 \times 10^{-5}}{0,919 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,021\%$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\eta = \frac{2,39 \times 5 \times 10^{-5}}{0,987 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,025\%$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\eta = \frac{2,41 \times 6 \times 10^{-5}}{1,202 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,025\%$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\eta = \frac{2,18 \times 3 \times 10^{-5}}{0,606 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,022\%$$

c. Rangkaian 4 seri x 3 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\eta = \frac{1,73 \times 8 \times 10^{-5}}{1,258 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,023\%$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\eta = \frac{1,78 \times 14 \times 10^{-5}}{1,603 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,032\%$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\eta = \frac{1,77 \times 14 \times 10^{-5}}{1,581 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,033\%$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\eta = \frac{1,70 \times 6 \times 10^{-5}}{0,919 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,023\%$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\eta = \frac{1,70 \times 6 \times 10^{-5}}{0,987 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,022\%$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\eta = \frac{1,73 \times 8 \times 10^{-5}}{1,202 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,024\%$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\eta = \frac{1,66 \times 5 \times 10^{-5}}{0,606 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,029\%$$

d. Rangkaian 12 paralel

1) Jam 09.00 WIB

$$\eta = \frac{0,39 \times 23 \times 10^{-5}}{1,258 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,015\%$$

2) Jam 10.00 WIB

$$\eta = \frac{0,45 \times 26 \times 10^{-5}}{1,603 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,015\%$$

3) Jam 11.00 WIB

$$\eta = \frac{0,44 \times 25 \times 10^{-5}}{1,581 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,014\%$$

4) Jam 12.00 WIB

$$\eta = \frac{0,36 \times 16 \times 10^{-5}}{0,919 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,013\%$$

5) Jam 13.00 WIB

$$\eta = \frac{0,37 \times 18 \times 10^{-5}}{0,987 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,014\%$$

6) Jam 14.00 WIB

$$\eta = \frac{0,39 \times 18 \times 10^{-5}}{1,202 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,012\%$$

7) Jam 15.00 WIB

$$\eta = \frac{0,33 \times 13 \times 10^{-5}}{0,606 \times 4,8 \times 10^{-3}} \times 100\% = 0,015\%$$

LAMPIRAN D. TABEL TINGKAT KETELITIAN HASIL PENGUKURAN

1. Tabel tingkat ketelitian hasil pengukuran pengaruh waktu terhadap intensitas pencahayaan.

No	Waktu	Iluminansi (Lux)	Rata-rata Iluminansi (Lux)	Kesalahan Mutlak $\Delta E = \sqrt{\frac{\sum (E-E)^2}{n-1}}$	Kesalahan Relatif $(E) = \frac{\Delta E}{E} \times 100\%$	Keseeksamaan 100% - (E)	HP { $\bar{E} \pm \Delta E$ } (Lux)
1	09.00 WIB	876	859,00	22.63	0.0263	99.9737	859,00 ± 22.63
		890					
		811					
2	10.00 WIB	1096	1095,00	0.47	0.0004	99.9996	1095,00 ± 0.47
		1095					
		1094					
3	11.00 WIB	1080	1079,67	1.26	0.0012	99.9988	1079,67 ± 1.26
		1077					
		1082					
4	12.00 WIB	635	628,00	3.77	0.0060	99.9940	628,00 ± 3.77
		629					
		620					
5	13.00 WIB	656	674,33	8.64	0.0128	99.9872	674,33 ± 8.64
		680					
		687					
6	14.00 WIB	780	821,00	40.54	0.0494	99.9506	821,00 ± 40.54
		776					
		907					
7	15.00 WIB	458	413,67	30.95	0.0748	99.9252	413,67 ± 30.95
		435					
		348					

2. Tabel tingkat ketelitian hasil pengukuran pengaruh intensitas pencahayaan terhadap arus listrik.

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Kesalahan Mutlak $\Delta I = \sqrt{\frac{\sum (I - \bar{I})^2}{n - 1}}$	Kesalahan Relatif $(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$	Keseksamaan 100% - (I)	HP $\{\bar{I} \pm \Delta I\}$ (mA)
1	12 Seri	09.00 WIB	0,04	0,04	0.002357	0.058926	99.941074	0,04 ± 0.002357
			0,05					
			0,04					
		10.00 WIB	0,06	0,06	0	0	100	0,06
			0,06					
			0,06					
		11.00 WIB	0,06	0,06	0	0	100	0,06
			0,06					
			0,06					
		12.00 WIB	0,03	0,03	0	0	100	0,03
0,03								
0,03								
13.00 WIB	0,02	0,03	0.002357	0.078567	99.921433	0,03 ± 0.002357		
	0,03							
	0,03							
14.00 WIB	0,04	0,04	0	0	100	0,04		
	0,04							
	0,04							
15.00 WIB	0,02	0,02	0	0	100	0,02		
	0,02							
	0,02							

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Kesalahan Mutlak	Kesalahan Relatif	Keseksamaan 100% - (I)	HP
					$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum (I - \bar{I})^2}{n - 1}}$	$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$		$\{\bar{I} \pm \Delta I\}$ (mA)
2	6 Seri x 2 Paralel	09.00 WIB	0,06 0,06 0,06	0,06	0	0	100	0,06
		10.00 WIB	0,11 0,11 0,11	0,11	0	0	100	0,11
		11.00 WIB	0,10 0,11 0,11	0,11	0.002357	0.021427	99.978573	0,11 ± 0.002357
		12.00 WIB	0,04 0,04 0,04	0,04	0	0	100	0,04
		13.00 WIB	0,05 0,05 0,05	0,05	0	0	100	0,05
		14.00 WIB	0,05 0,05 0,07	0,06	0.007071	0.117851	99.882149	0,06 ± 0.007071
		15.00 WIB	0,03 0,03 0,03	0,03	0	0	100	0,03

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Kesalahan Mutlak $\Delta I = \sqrt{\frac{\sum (I - \bar{I})^2}{n - 1}}$	Kesalahan Relatif (I) = $\frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$	Keseksamaan 100% - (I)	HP { $\bar{I} \pm \Delta I$ } (mA)
3	4 Seri x 3 Paralel	09.00 WIB	0,08 0,09 0,07	0,08	0.004714	0.058926	99.941074	0,08 ± 0.004714
		10.00 WIB	0,15 0,14 0,14	0,14	0.002357	0.016836	99.983164	0,14 ± 0.002357
		11.00 WIB	0,14 0,14 0,14	0,14	0	0	100	0,14
		12.00 WIB	0,06 0,06 0,06	0,06	0	0	100	0,06
		13.00 WIB	0,06 0,06 0,06	0,06	0	0	100	0,06
		14.00 WIB	0,07 0,07 0,09	0,08	0.007071	0.088388	99.911612	0,08 ± 0.007071
		15.00 WIB	0,05 0,05 0,04	0,05	0.002357	0.047140	99.952860	0,05 ± 0.002357

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Arus (mA)	Rata-rata Arus (mA)	Kesalahan Mutlak $\Delta I = \sqrt{\frac{\sum (I - \bar{I})^2}{n - 1}}$	Kesalahan Relatif $(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$	Keseksamaan 100% - (I)	HP $\{\bar{I} \pm \Delta I\}$ (mA)
4	12 Paralel	09.00 WIB	0,24	0,23	0.004714	0.020496	99.979504	0,23 ± 0.004714
			0,23					
			0,22					
		10.00 WIB	0,26	0,26	0	0	100	0,26
			0,26					
			0,26					
		11.00 WIB	0,25	0,25	0.002357	0.009428	99.990572	0,25 ± 0.002357
			0,25					
			0,26					
		12.00 WIB	0,16	0,16	0	0	100	0,16
			0,16					
			0,16					
13.00 WIB	0,17	0,18	0.002357	0.013095	99.986905	0,18 ± 0.002357		
	0,18							
	0,18							
14.00 WIB	0,18	0,18	0	0	100	0,18		
	0,18							
	0,18							
15.00 WIB	0,13	0,13	0	0	100	0,13		
	0,13							
	0,13							

3. Tabel tingkat ketelitian hasil pengukuran pengaruh intensitas pencahayaan terhadap tegangan.

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Kesalahan Mutlak $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum (V - \bar{V})^2}{n - 1}}$	Kesalahan Relatif (V) = $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$	Keseeksamaan 100% - (V)	HP $\{\bar{V} \pm \Delta V\}$ (V)
1	12 Seri	09.00 WIB	0,04	0,04	0.011785	0.003582	99.996418	$0,04 \pm 0.011785$
			0,05					
			0,04					
		10.00 WIB	0,06	0,06	0.002357	0.000617	99.999383	$0,06 \pm 0.002357$
			0,06					
			0,06					
		11.00 WIB	0,06	0,06	0.007071	0.001861	99.998139	$0,06 \pm 0.007071$
			0,06					
			0,06					
		12.00 WIB	0,03	0,03	0.002357	0.000737	99.999263	$0,03 \pm 0.002357$
			0,03					
			0,03					
13.00 WIB	0,02	0,03	0.002357	0.000732	99.999268	$0,03 \pm 0.002357$		
	0,03							
	0,03							
14.00 WIB	0,04	0,04	0.009428	0.002874	99.997126	$0,04 \pm 0.009428$		
	0,04							
	0,04							
15.00 WIB	0,02	0,02	0.011785	0.003694	99.996306	$0,02 \pm 0.011785$		
	0,02							
	0,02							

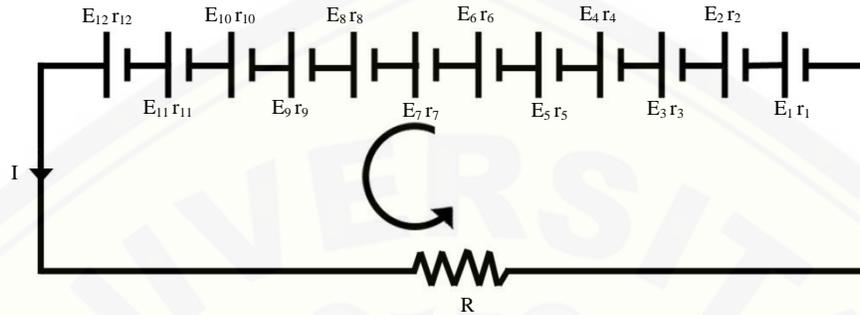
No	Rangkaian Transistor	Waktu	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Kesalahan Mutlak $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum (V - \bar{V})^2}{n - 1}}$	Kesalahan Relatif (V) = $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$	Keseksamaan 100% - (V)	HP $\{\bar{V} \pm \Delta V\}$ (V)
2	6 Seri x 2 Paralel	09.00 WIB	0,06	0,06	0.007071	0.002934	99.997066	0,06 ± 0.007071
			0,06					
			0,06					
		10.00 WIB	0,11	0,11	0.009428	0.003817	99.996183	0,11 ± 0.009428
			0,11					
			0,11					
		11.00 WIB	0,10	0,11	0	0	100	0,11
			0,11					
0,11								
12.00 WIB	0,04	0,04	0.094281	0.040992	99.959008	0,04 ± 0.094281		
	0,04							
	0,04							
13.00 WIB	0,05	0,05	0.009428	0.003945	99.996055	0,05 ± 0.009428		
	0,05							
	0,05							
14.00 WIB	0,05	0,06	0.009428	0.003912	99.996088	0,06 ± 0.009428		
	0,05							
	0,07							
15.00 WIB	0,03	0,03	0.023570	0.010812	99.989188	0,03 ± 0.023570		
	0,03							
	0,03							

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Kesalahan Mutlak $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum (V - \bar{V})^2}{n - 1}}$	Kesalahan Relatif (V) = $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$	Keseksamaan 100% - (V)	HP $\{\bar{V} \pm \Delta V\}$ (V)
3	4 Seri x 3 Paralel	09.00 WIB	0,08	0,08+	0.007071	0.004087	99.995913	0,08 ± 0.007071
			0,09					
			0,07					
		10.00 WIB	0,15	0,14	0	0	100	0,14
			0,14					
			0,14					
		11.00 WIB	0,14	0,14	0.007071	0.003995	99.996005	0,14 ± 0.007071
			0,14					
0,14								
12.00 WIB	0,06	0,06	0	0	100.000000	0,06		
	0,06							
	0,06							
13.00 WIB	0,06	0,06	0	0	100	0,06		
	0,06							
	0,06							
14.00 WIB	0,07	0,08	0.007071	0.004087	99.995913	0,08 ± 0.007071		
	0,07							
	0,09							
15.00 WIB	0,05	0,05	0.007071	0.004260	99.995740	0,05 ± 0.007071		
	0,05							
	0,04							

No	Rangkaian Transistor	Waktu	Tegangan (V)	Rata-rata Tegangan (V)	Kesalahan Mutlak	Kesalahan Relatif	Keseksamaan 100% - (V)	HP $\{\bar{V} \pm \Delta V\}$ (V)
					$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum (V - \bar{V})^2}{n - 1}}$	(V) = $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$		
4	12 Paralel	09.00 WIB	0,24	0,23	0,007071	0,018131	99,981869	0,23 ± 0,007071
			0,23					
			0,22					
		10.00 WIB	0,26	0,26	0,002357	0,005238	99,994762	0,26 ± 0,002357
			0,26					
			0,26					
		11.00 WIB	0,25	0,25	0,002357	0,005357	99,994643	0,25 ± 0,002357
			0,25					
			0,26					
		12.00 WIB	0,16	0,16	0,002357	0,006547	99,993453	0,16 ± 0,002357
			0,16					
			0,16					
13.00 WIB	0,17	0,18	0,002357	0,006370	99,993630	0,18 ± 0,002357		
	0,18							
	0,18							
14.00 WIB	0,18	0,18	0,007071	0,018131	99,981869	0,18 ± 0,007071		
	0,18							
	0,18							
15.00 WIB	0,13	0,13	0	0	100	0,13		
	0,13							
	0,13							

LAMPIRAN E. PEMBUKTIAN $I_{seri} > I_{paralel}$

1. Rangkaian 12 seri



$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = E_6 = E_7 = E_8 = E_9 = E_{10} = E_{11} = E_{12}$$

$$\sum E + \sum IR = 0$$

$$E_1 - Ir_1 + E_2 - Ir_2 + E_3 - Ir_3 + E_4 - Ir_4 + E_5 - Ir_5 + E_6 - Ir_6 + E_7 - Ir_7 + E_8 - Ir_8 + E_9 - Ir_9 + E_{10} - Ir_{10} + E_{11} - Ir_{11} + E_{12} - Ir_{12} - IR = 0$$

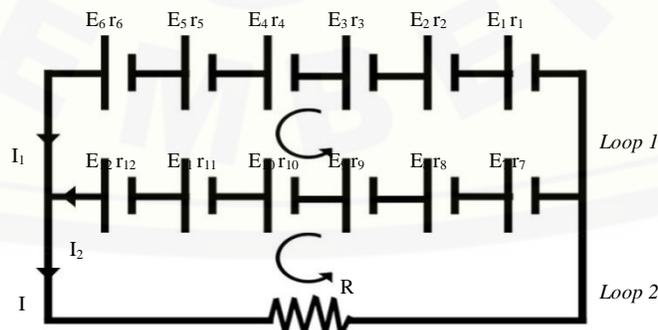
$$I(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 + r_9 + r_{10} + r_{11} + r_{12} + R) = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10} + E_{11} + E_{12}$$

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10} + E_{11} + E_{12}}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 + r_9 + r_{10} + r_{11} + r_{12} + R}$$

$$I = \frac{12 E}{12r + R}$$

$$\text{Jadi } I_{total} = \frac{12 E}{12r + R}$$

2. Rangkaian 6 seri x 2 paralel



$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = E_6 = E_7 = E_8 = E_9 = E_{10} = E_{11} = E_{12}$$

$$\sum E + \sum IR = 0$$

Loop 1

$$E_1 - I_1 r_1 + E_2 - I_1 r_2 + E_3 - I_1 r_3 + E_4 - I_1 r_4 + E_5 - I_1 r_5 + E_6 - I_1 r_6 - E_{12} + I_2 r_{12} - E_{11} + I_2 r_{11} - E_{10} + I_2 r_{10} - E_9 + I_2 r_9 - E_8 + I_2 r_8 - E_7 + I_2 r_7 = 0$$

$$I_1 = I_2$$

Loop 2

$$E_7 - I_2 r_7 + E_8 - I_2 r_8 + E_9 - I_2 r_9 + E_{10} - I_2 r_{10} + E_{11} - I_2 r_{11} + E_{12} - I_2 r_{12} - (I_1 + I_2)R = 0$$

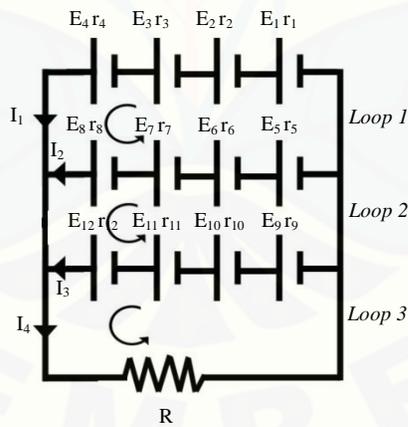
$$I_2(r_7 + r_8 + r_9 + r_{10} + r_{11} + r_{12}) + (I_1 + I_2)R = E_7 + E_8 + E_9 + E_{10} + E_{11} + E_{12}$$

$$I_2(6r + 2R) = 6E$$

$$I_2 = \frac{6E}{(6r+2R)}$$

$$\text{Jadi } I_{total} = 2 \times I_2$$

3. Rangkaian 4 seri x 3 paralel



$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = E_6 = E_7 = E_8 = E_9 = E_{10} = E_{11} = E_{12}$$

$$\sum E + \sum IR = 0$$

Loop 1

$$E_1 - I_1 r_1 + E_2 - I_1 r_2 + E_3 - I_1 r_3 + E_4 - I_1 r_4 - E_8 + I_2 r_8 - E_7 + I_2 r_7 - E_6 + I_2 r_6 -$$

$$E_5 + I_2 r_5 = 0$$

$$I_1 = I_2$$

Loop 2

$$E_5 - I_2 r_5 + E_6 - I_2 r_6 + E_7 - I_2 r_7 + E_8 - I_2 r_8 - E_{12} + I_3 r_{12} - E_{11} + I_3 r_{11} - E_{10} + I_3 r_{10} - E_9 + I_3 r_9 = 0$$

$$I_2 = I_3$$

Loop 3

$$E_9 - I_3 r_9 + E_{10} - I_3 r_{10} + E_{11} - I_3 r_{11} + E_{12} - I_3 r_{12} - (I_2 + I_3)R = 0$$

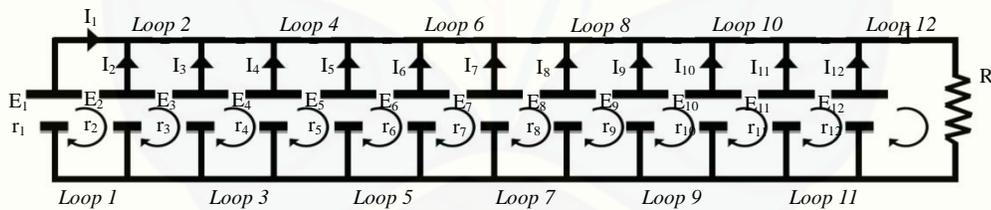
$$I_3(r_9 + r_{10} + r_{11} + r_{12}) + (I_2 + I_3)R = E_9 + E_{10} + E_{11} + E_{12}$$

$$I_3(4r + 2R) = 4E$$

$$I_3 = \frac{4E}{(4r + 2R)}$$

Jadi $I_{total} = 3 \times I_3$

4. Rangkaian 12 paralel



$$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = E_6 = E_7 = E_8 = E_9 = E_{10} = E_{11} = E_{12}$$

$$\sum E + \sum IR = 0$$

Loop 1

$$E_1 - E_2 - I_1 r_1 + I_2 r_2 = 0$$

$$-I_1 r_1 + I_2 r_2 = 0$$

$$I_1 = I_2$$

Loop 2

$$E_2 - E_3 - I_2 r_2 + I_3 r_3 = 0$$

$$-I_2 r_2 + I_3 r_3 = 0$$

$$I_2 = I_3$$

Loop 3

$$E_3 - E_4 - I_3 r_3 + I_4 r_4 = 0$$

$$-I_3 r_3 + I_4 r_4 = 0$$

$$I_3 = I_4$$

Loop 4

$$E_4 - E_5 - I_4 r_4 + I_5 r_5 = 0$$

$$-I_4 r_4 + I_5 r_5 = 0$$

$$I_4 = I_5$$

Loop 5

$$E_5 - E_6 - I_5 r_5 + I_6 r_6 = 0$$

$$-I_5 r_5 + I_6 r_6 = 0$$

$$I_5 = I_6$$

Loop 6

$$E_6 - E_7 - I_6 r_6 + I_7 r_7 = 0$$

$$-I_6 r_6 + I_7 r_7 = 0$$

$$I_6 = I_7$$

Loop 7

$$E_7 - E_8 - I_7 r_7 + I_8 r_8 = 0$$

$$-I_7 r_7 + I_8 r_8 = 0$$

$$I_7 = I_8$$

Loop 8

$$E_8 - E_9 - I_8 r_8 + I_9 r_9 = 0$$

$$-I_8 r_8 + I_9 r_9 = 0$$

$$I_8 = I_9$$

Loop 9

$$E_9 - E_{10} - I_9 r_9 + I_{10} r_{10} = 0$$

$$-I_9 r_9 + I_{10} r_{10} = 0$$

$$I_9 = I_{10}$$

Loop 10

$$E_{10} - E_{11} - I_{10} r_{10} + I_{11} r_{11} = 0$$

$$-I_{10} r_{10} + I_{11} r_{11} = 0$$

$$I_{10} = I_{11}$$

Loop 11

$$E_{11} - E_{12} - I_{11} r_{11} + I_{12} r_{12} = 0$$

$$-I_{11} r_{11} + I_{12} r_{12} = 0$$

$$I_{11} = I_{12}$$

Loop 12

$$E_{12} - I_{12} r_{12} - IR = 0$$

$$E_{12} = I_{12} r_{12} + IR$$

$$E_{12} = I_{12} r_{12} + (I_{11} + I_{12})R$$

$$E_{12} = I_{12} r_{12} + 2I_{12}R$$

$$E_{12} = I_{12}(r_{12} + 2R)$$

$$I_{12} = \frac{E_{12}}{r_{12} + 2R}$$

$$\text{Jadi } I_{total} = 12 \times I_{12}$$

LAMPIRAN F. FOTO KEGIATAN PENELITIAN



Gambar 1. Penggergajian penutup transistor 2N3055



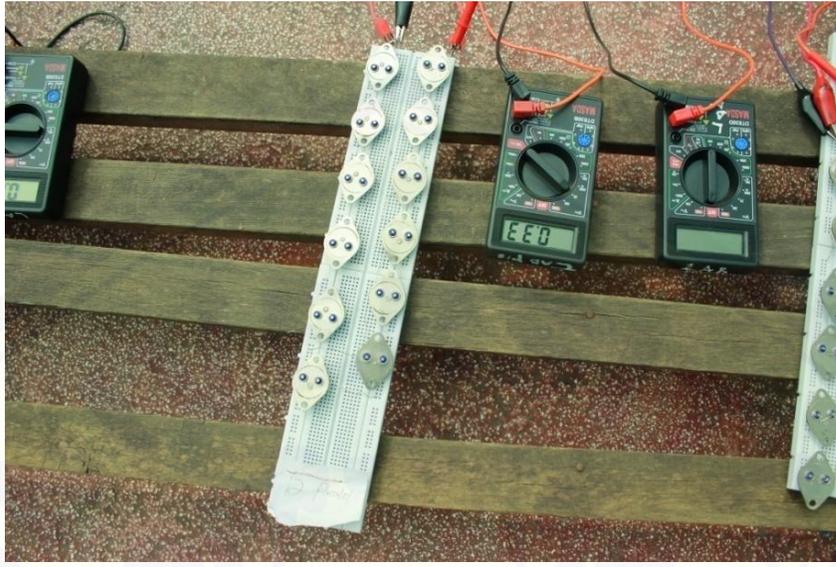
Gambar 2. Transistor 2N3055 yang belum dan sudah dibuka penutupnya



Gambar 3. Penyinaran transistor 2N3055



Gambar 4. Pengambilan data



Gambar 5. Salah satu data yang terbaca multimeter



Gambar 6. Salah satu data Iluminansi yang terbaca luxmeter