



**RANCANG BANGUN SISTEM *SCANNING REFLEKTOR* CERMIN
CEKUNG PADA PANEL SURYA POLIKRISTAL 50 WP**

SKRIPSI

Oleh

Purwadiharja

NIM 141910201073

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**RANCANG BANGUN SISTEM *SCANNING REFLEKTOR* CERMIN
CEKUNG PADA PANEL SURYA POLIKRISTAL 50 WP**

SKRIPSI

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

Oleh

Purwadiharja

NIM 141910201073

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Puji syukur terbitkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpah rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini banyak sekali semangat yang didapatkan dari banyak pihak. Untuk itu persembahan ini penulis berikan kepada :

1. Bapak Suyitno dan Ibu Satima tercinta, yang selalu mendoakan, mengarahkan, serta memberikan dukungan penuh dengan segala perhatiannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Seluruh dulur KETEK UJ 2014 yang telah memberikan dukungan dan doanya.
5. Sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan semangat serta perhatian yang luar biasa.
6. Saudara-saudara ku Teknik Elektro Universitas Jember.
7. Almamater Tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

*“Jangan malu terlihat bodoh malulah saat kita pura – pura pintar”
(Albert Einstein)*

*“Tidak penting dari mana anda berasal, yang penting adalah kemana anda akan
melangkah”
(Brian Tracy)*

*“Sesungguhnya ilmu itu didapat hanya dengan belajar, dan kesabaran itu
diperoleh hanya dengan latihan”
(Al Hadits)*

*“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil, tapi berusahalah
menjadi manusia yang berguna”
(Albert Einstein)*

*“Jadilah diri sendiri”
(Purwadiharja)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Purwadiharja

NIM : 141910201073

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Mei 2018

Yang menyatakan,

Purwadiharja
NIM 141910201073

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM *SCANNING REFLEKTOR* CERMIN
CEKUNG PADA PANEL SURYA POLIKRISTAL 50 WP**

Oleh
Purwadiharja
NIM 141910201073

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP” karya Purwadiharja telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 18 Mei 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Anggota II,

Anggota III,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 196312011994021002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 197004041996011001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor Cermin Cekung* Pada Panel Surya Polikristal 50WP; Purwadiharja; 141910201073; 2018; 89 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada saat ini dunia mengalami perkembangan teknologi yang sangat pesat. Hal tersebut mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik yang sangat besar. Pada umumnya energi listrik yang kita gunakan saat ini berasal dari bahan bakar fosil yang mana persediaannya semakin berkurang. Untuk itu dibutuhkan suatu energi alternatif yang tidak hanya efisien namun juga ramah lingkungan, salah satunya adalah pemanfaatan sumber daya dari matahari. Matahari merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki jumlah energi tidak terbatas, bahkan matahari merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui. Pemanfaatan sumber daya matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dapat menggunakan sel surya.

Sel surya merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Saat ini penggunaan sel surya di kalangan masyarakat masih kurang, hal tersebut dikarenakan efisiensi dari sel surya sendiri masih rendah dimana tingkat efisiensi sel surya menunjukkan seberapa banyak jumlah radiasi cahaya mampu dikonversikan ke dalam penggunaan energi listrik. Dampak dari efisiensi sel surya yang rendah ini berpengaruh pada hasil keluaran daya listrik pada panel surya. Maka dari itu perlu adanya pengembangan teknologi yang dapat membantu kinerja dari panel surya agar efisiensinya meningkat.

Pada penelitian ini membahas mengenai penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung pada panel surya polikristal. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan nilai daya yang lebih besar sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari panel surya tersebut. Pada penelitian memanfaatkan cermin cekung yang digunakan sebagai *reflektor* pada keempat buah sisi panel surya. *Reflektor* tersebut terdiri dari *reflektor* sisi barat dan *reflektor* sisi timur yang dapat bergerak secara otomatis sesuai dengan arah pancaran sinar matahari,

sedangkan *reflektor* sisi utara dan *reflektor* sisi selatan dapat diatur secara manual. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai daya, tegangan dan arus listrik yang dihasilkan akibat pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung serta untuk mengetahui nilai efisiensi panel surya akibat pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung.

Pengujian dilakukan pada tanggal 25 Maret 2018 dengan waktu uji dari pukul 07.30 WIB sampai dengan pukul 14.30 WIB dengan selang waktu *scanning* 30 menit. Pada pengambilan data teknologi *scanning reflektor* cermin cekung dilakukan dengan menggunakan sebuah *datalogger* dengan tujuan dapat mengetahui nilai daya yang dihasilkan panel surya secara kontinyu, sedangkan untuk pengambilan data pada penggunaan *reflektor* cermin datar dilakukan dengan cara pengukuran menggunakan multimeter digital. Pada teknologi *scanning reflektor* cermin cekung, pergerakan *reflektor* menyesuaikan titik optimum nilai daya dan intensitas cahaya matahari yang didapat selama proses *scanning*. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung pada panel surya menyebabkan adanya peningkatan arus dan daya dibandingkan dengan Penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin datar dengan rata – rata sebesar 0,234 A dan 1,113 watt, dengan nilai tegangan yang dihasilkan lebih cenderung stabil atau sama. Dan nilai efisiensi panel surya yang menggunakan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung lebih baik dibandingkan dengan teknologi *scanning reflektor* cermin datar, dengan nilai rata – rata selisih efisiensi sebesar 2,558%.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku Dosen Pembing Utama serta Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini.
7. Bapak Sumardi, S.T., M.T selaku Dosen Pembing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa.
8. Ayahanda Suyitno dan ibunda Satima yang selalu memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, dan kasih sayang serta doa yang tak terhingga.
9. Sahabat tercinta Ajis, Fabian, Edwin, Deni, Kamad, Damas, Muhek, Ujek, dan Raka yang telah menemani dan memberikan motivasi serta semangat yang sangat luar biasa.

10. Dulur seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjalanan di bangku kuliah.
11. Keluarga besar Laboratorium Sistem Tenaga yang sangat luar biasa.
12. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Jember, 18 Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Radiasi Surya.....	4
2.2 Intensitas Cahaya	4
2.3 Sel <i>Photovoltaic</i>	5
2.4 Sel Surya (<i>solar cell</i>)	5
2.4.1 Mekanisme Konversi Energi	5
2.4.2 Jenis-Jenis Sel Surya	6
2.5 Analisis <i>Solar Photovoltaic</i> (SPS)	7
2.6 Panel Surya	10

2.6.1 Arus Hubung Singkat Pada Panel Surya	10
2.6.2 Tegangan Hubung Terbuka Pada Panel Surya	11
2.6.3 Pengaruh <i>Irradiance</i> Terhadap Panel Surya.....	12
2.6.4 Daya Pada Panel Surya.....	13
2.6.5 <i>Fill Factor</i>	14
2.6.6 Efisiensi Panel Surya	15
2.6.7 Energi Listrik.....	15
2.7 Arduino UNO R3.....	16
2.8 Motor Stepper.....	17
2.9 Bumi Terhadap Matahari	20
2.9.1 Konstanta Surya	20
2.9.2 Pengaruh Posisi Relatif Matahari Terhadap Bumi.....	21
2.9.3 Sudut Datang Radiasi Matahari.....	22
2.9.4 Radiasi Pantulan dari Reflektor.....	24
2.10 Cermin Cekung	25
2.11 Data Logger	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Bahan.....	29
3.2.1 Alat.....	29
3.2.2 Bahan	30
3.3 Konsep Pemikiran Penelitian.....	31
3.4 Desain Penelitian	31
3.4.1 Diagram Blok Sistem Pengujian	31
3.4.2 Flowchart	32
3.5 Desain Alat	34
3.6 Metode Pengumpulan Data	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya.....	40
4.2 Pengujian Sensor	42
4.2.1 Pengujian Sensor Tegangan	42

4.2.2 Pengujian Sensor Arus	44
4.2.3 Pengujian Sensor Intensitas Cahaya	46
4.3 Perhitungan Radiasi Masukan.....	49
4.3.1 Sudut Datang Radiasi Matahari	49
4.3.2 Analisa Radiasi Pantulan <i>Reflektor</i>	52
4.3.3 Radiasi yang Menimpa Panel Surya Akibat <i>Reflektor</i>	54
4.4 Analisa Hasil Pengambilan Data.....	57
4.4.1 Analisa Data <i>Scanning Reflektor</i> Cermin Cekung	57
4.4.2 Analisa Data Sampel per-30 menit	59
4.5 Pengaruh Suhu Terhadap <i>Perform</i> Panel Surya	64
4.6 Analisa Efisiensi Daya Panel Surya	65
BAB 5. PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	70

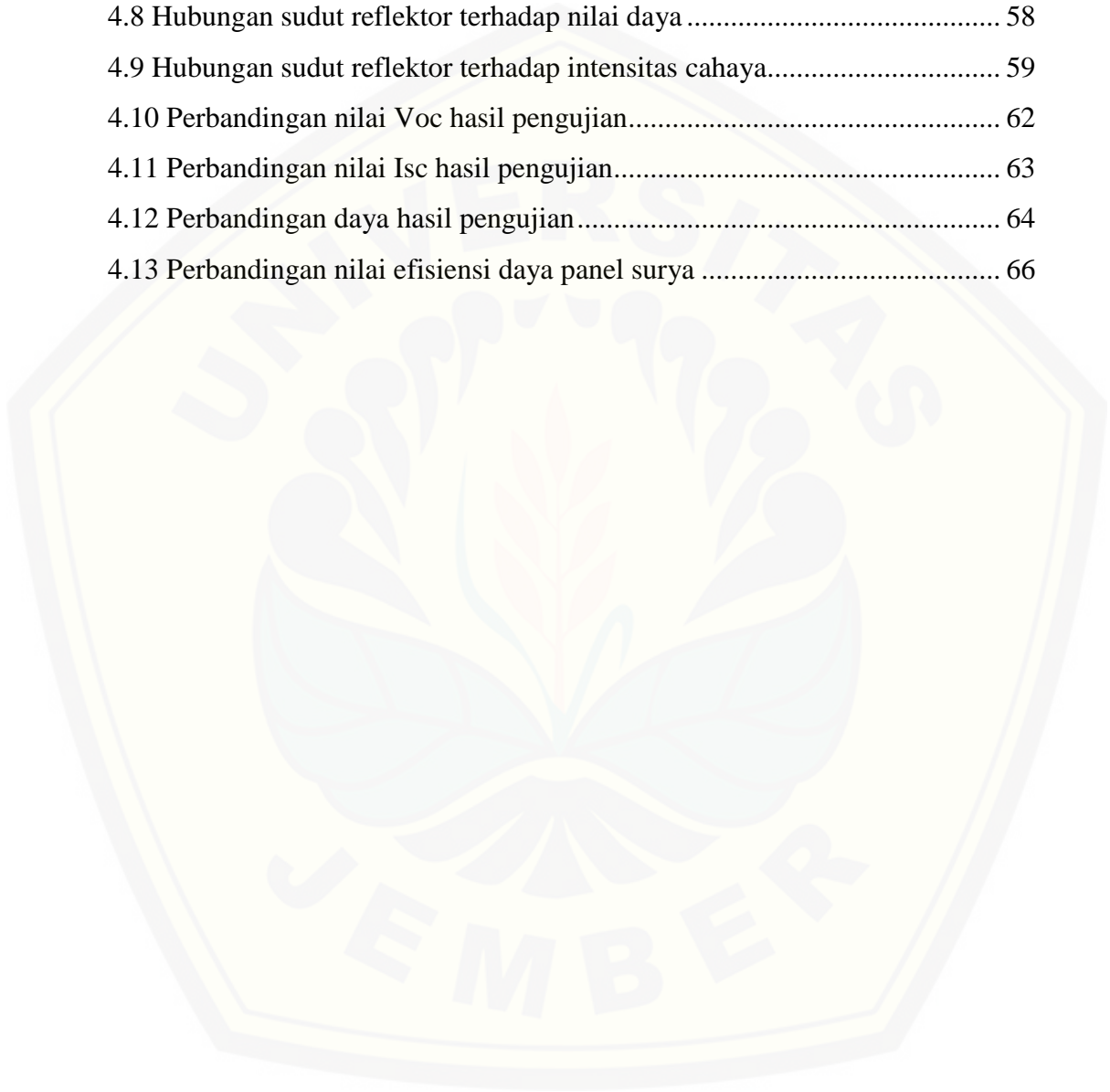
DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spesifikasi Arduino UNO R3.....	17
3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	29
4.1 Pengujian karakteristik panel surya	40
4.2 Pengujian sensor tegangan	43
4.3 Pengujian sensor arus.....	45
4.4 Pengujian sensor intensitas cahaya	47
4.5 Data hasil pengujian sudut datang matahari	52
4.6 Data hasil pengujian radiasi pantulan <i>reflektor</i>	53
4.7 Hasil perhitungan komponen radiasi masukan system	56
4.8 Data scanning <i>reflektor</i> cermin cekung	57
4.9 Pengukuran Voc, Isc dan analisis Pout dan efisiensi.....	60
4.10 Pengaruh perubahan suhu terhadap nilai tegangan Voc	65

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur sel surya	5
2.2 Proses pelepasan elektron pada sel surya.....	6
2.3 Model dioda tunggal untuk rangkaian ekivalen PV.....	8
2.4 Kurva I-V <i>solar cell</i> yang menunjukkan arus <i>short circuit</i>	11
2.5 Kurva IV <i>solar cell</i> yang menunjukkan tegangan <i>open circuit</i>	12
2.6 Kurva V-I terhadap perubahan <i>irradiance</i>	13
2.7 Arduino UNO R3	17
2.8 Timing waktu setiap 15 ⁰	20
2.9 Hubungan geometris bumi-matahari.....	21
2.10 Beberapa sudut penting dalam energy surya.....	21
2.11 Pantulan cermin cekung	25
2.12 Pantulan cahaya ketika sinar datang sejajar sumbu utama	26
2.13 Pantulan cahaya ketika sinar datang melalui titik fokus	26
2.14 Pantulan cahaya ketika sinar datang melalui titik pusat kelengkungan ...	27
2.15 Pantulan cahaya ketika sinar datang dari arah sembarang.....	27
2.16 Data Logger.....	28
3.1 Diagram Blok Penelitian.....	31
3.2 Bagan Alur Rancangan Penelitian	32
3.3 Bagan Alur Rancangan Pengujian Alat	33
3.4 Desain Modul Panel Surya dan Penempatan Cermin cekung.....	34
3.5 Desain Cermin cekung	35
3.6 Desain gerak <i>reflektor</i> barat dan timur pada pagi hari.....	36
3.7 Desain gerak <i>reflektor</i> barat dan timur pada siang hari	36
3.8 Desain gerak <i>reflektor</i> barat dan timur pada sore hari	37
4.1 Hubungan waktu terhadap daya <i>output</i>	41
4.2 Pengujian sensor tegangan	43
4.3 Sensor tegangan	44

4.4 Pengujian sensor arus.....	45
4.5 Sensor Arus	46
4.6 Pengujian sensor intensitas cahaya	48
4.7 Sensor intensitas cahaya.....	49
4.8 Hubungan sudut reflektor terhadap nilai daya	58
4.9 Hubungan sudut reflektor terhadap intensitas cahaya.....	59
4.10 Perbandingan nilai Voc hasil pengujian.....	62
4.11 Perbandingan nilai Isc hasil pengujian.....	63
4.12 Perbandingan daya hasil pengujian.....	64
4.13 Perbandingan nilai efisiensi daya panel surya	66



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Listing Program	70
Lampiran B. Data <i>Scanning Reflektor Cermin Cekung</i>	80
Lampiran C. Dokumentasi	87



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini dunia mengalami perkembangan teknologi yang sangat pesat. Hal tersebut mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik yang sangat besar. Pada umumnya energi listrik yang kita gunakan saat ini berasal dari bahan bakar fosil yang mana persediaannya semakin berkurang. Untuk itu dibutuhkan suatu energi alternatif yang tidak hanya efisien namun juga ramah lingkungan, salah satunya adalah pemanfaatan sumber daya dari matahari. Matahari merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki jumlah energi tidak terbatas, bahkan matahari merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui. Pemanfaatan sumber daya matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dapat menggunakan sel surya.

Sel surya merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Saat ini penggunaan sel surya di kalangan masyarakat masih kurang, hal tersebut dikarenakan efisiensi dari sel surya sendiri masih rendah dimana tingkat efisiensi sel surya menunjukkan seberapa banyak jumlah radiasi cahaya mampu dikonversikan ke dalam penggunaan energi listrik. Dampak dari efisiensi sel surya yang rendah ini berpengaruh pada hasil keluaran daya listrik pada panel surya. Maka dari itu perlu adanya pengembangan teknologi yang dapat membantu kinerja dari panel surya agar efisiensinya meningkat.

Dari penelitian sebelumnya yakni optimalisasi nilai daya dan energi listrik pada panel surya polikristal dengan teknologi *scanning reflektor* cermin datar (Utomo, 2016), telah memberikan inovasi baru, sehingga mendapatkan hasil yang lebih jika dibandingkan dengan panel surya tanpa *scanning reflektor* cermin datar, terlihat dari nilai efisiensi yang dihasilkan. Namun penggunaan *scanning reflektor* cermin datar pada penelitian tersebut mempunyai beberapa kekurangan yaitu kurang optimalnya pantulan cahaya matahari dari cermin sehingga nilai efisiensi juga kurang optimal. Hal tersebut dikarenakan cermin datar memiliki pantulan yang teratur. Namun sudut pantul teratur dapat mengakibatkan sinar pantul tidak berpusat pada panel surya, sehingga daya keluaran pemaksimalan panel surya

dengan cermin datar dirasa masih kurang. Selain cermin datar juga terdapat cermin cekung yang memiliki pantulan lebih fokus untuk dimanfaatkan sebagai *scanning reflektor*. Untuk itu pada penelitian kali, penulis ingin memberikan inovasi baru pada pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi listrik, dengan cara mengganti *scanning reflektor* yang pada penelitian sebelumnya menggunakan cermin datar menjadi cermin cekung, sehingga diharapkan panel surya mampu memberikan nilai efisiensi yang maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengoptimalkan nilai daya, dengan mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan dari penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung ?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Mendesain dan membangun panel surya polikristal dengan *scanning reflektor* cermin cekung.
2. Mengetahui daya, tegangan dan arus yang dihasilkan akibat pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung.
3. Mengetahui nilai efisiensi panel surya akibat pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa manfaat diantaranya yaitu menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh di bangku kuliah, sebagai pembelajaran peneliti untuk mengembangkan lebih lanjut

penelitian ini, meningkatkan konsep atau teori yang mendukung upaya efisiensi panel surya. Serta memberikan inovasi baru sebagai sarana mendobrak minat masyarakat untuk beralih ke pemanfaatan energi surya sebagai sumber pembangkit energi listrik.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Pengambilan dan analisa data meliputi arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan sumber lain.
2. Menggunakan panel surya GH solar 50 WP.
3. Motor yang di gunakan jenis motor *stepper*.
4. *Reflector* cermin cekung dengan titik fokus 13,5 cm, pusat kelengkungan cermin 27 cm, dan panjang busur cermin 28,26 cm.
5. Mekanik yang digunakan tidak dibahas secara mendalam.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Surya

Radiasi cahaya matahari yang jatuh langsung pada suatu permukaan bidang tegak lurus menghadap matahari dapat terjadi pada daerah – daerah yang dekat dengan khatulistiwa, seperti di Indonesia disebut penyinaran matahari maksimum. Energi dari radiasi matahari yang tiba di permukaan atmosfer dapat mencapai nilai konstanta surya sebesar 1350 W/m^2 dan hal ini akan berlangsung terus – menerus sepanjang tahun. Radiasi matahari yang menuju permukaan bumi mengalami gangguan berupa penyerapan, pembiasan dan pemantulan ketika melewati atmosfer bumi sehingga hanya sebagian saja dari radiasi yang sampai di luar atmosfer bumi yang diteruskan dan mencapai permukaan bumi (Amalia dan Satwiko, 2012).

Besarnya gangguan yang dialami oleh radiasi matahari didalam atmosfer sangat dipengaruhi oleh keadaan dari atmosfer. Jika langit mendung atau berawan tebal, maka semakin banyak radiasi matahari yang diserap dan dipantulkan sehingga semakin sedikit radiasi yang sampai kepermukaan bumi. Energi maksimum setelah mencapai permukaan bumi hanya tinggal 1000 W/m^2 sering disebut sebagai *full sun, one sun*, atau *AM 1 intensity* (Amalia dan Satwiko, 2012).

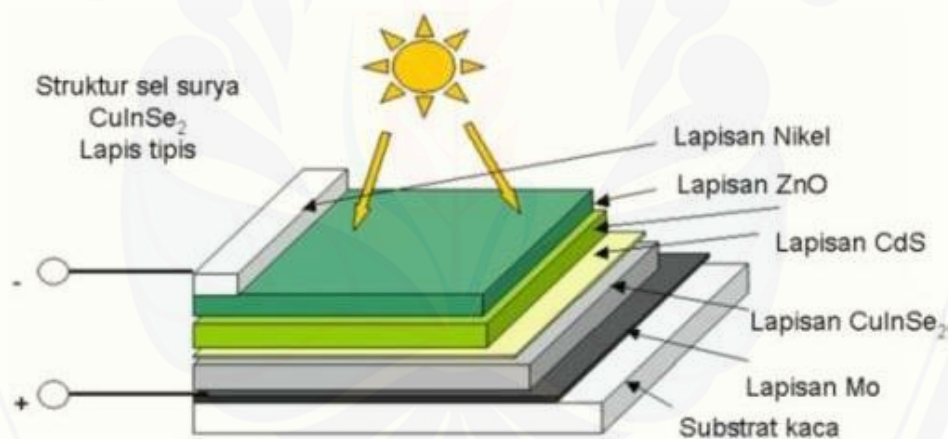
2.2 Intensitas cahaya

Intensitas Cahaya merupakan besaran pokok fisika untuk mengukur besarnya daya yang dipancarkan oleh suatu cahaya dengan arah tertentu dengan satuan sudut. Intensitas pada radiasi surya sangat bergantung dari kondisi atmosfer pada permukaan bumi, pada batas luar atmosfer bumi tercatat radiasi bumi sebesar 1.353 W/m^2 dengan jarak rata-rata bumi terhadap matahari. Angka tersebut biasa kita namakan dengan konstanta surya yang didefinisikan sebagai besaran energi rata-rata yang diterima oleh bumi dari matahari per unit luas permukaan. Pada dasarnya seluruh energi yang disebut sebagai konstanta surya tersebut tidak dapat mencapai permukaan bumi secara keseluruhan karena sebagian dari energi

tersebut juga terserap (*absorsi*) yang sangat kuat oleh karbon dioksida dan uap air yang berada di atmosfer (Utomo, 2016).

2.3 Sel *Photovoltaic*

Sel *photovoltaic* digunakan sebagai konversi energi matahari menjadi energi listrik. Dalam hal ini terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kurang optimalnya proses konversi energi yang diantaranya adalah faktor orientasi terhadap matahari yang selalu berubah-ubah. Energi matahari akan lebih banyak diserap oleh *solar cell* pada saat pancaran sinar matahari berhadapan langsung dengan *solar cell*, dalam artian posisi *solar cell* harus tegak lurus dengan cahaya yang datang. Pada kondisi seperti ini, efektivitas *solar cell* dalam menghasilkan daya listrik yang lebih besar akan lebih mudah didapat (Prabowo, 2013).



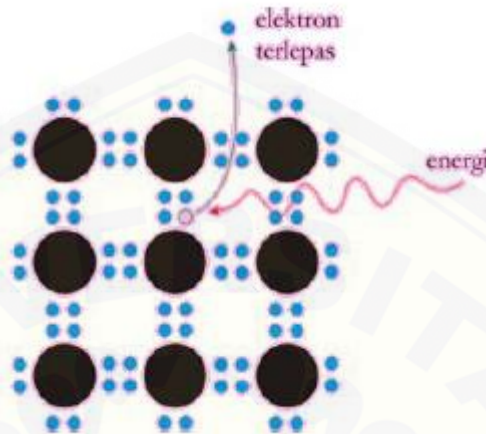
Gambar 2.1 Struktur sel surya (Sumber : Prabowo, 2013)

2.4 Sel Surya (*Solar cell*)

2.4.1 Mekanisme Konversi Energi

Sel surya adalah suatu teknologi yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor dengan lebar celah energi relatif kecil ($\pm 1\text{eV}$). Energi dari cahaya matahari disebut foton. Terlihat ketika foton diserap oleh material semikonduktor maka energi foton akan membentur elektron didalam semikonduktor sehingga beberapa elektron ini akan mendapatkan energi yang cukup untuk meninggalkan pita valensi dan berpindah

ke pita konduksi. Akibat dari perpindahan elektron tersebut dihasilkan suatu ikatan kovalen yang tidak lengkap yang biasa disebut *hole* atau lubang seperti pada Gambar 2.2 (Setiawan, 2015).



Gambar 2.2 Proses pelepasan elektron pada sel surya (Sumber : Setiawan, 2015)

Ketika elektron lain mengisi *hole*, elektron tersebut juga mengakibatkan *hole* pada atom yang ditinggalkan dan akan diisi kembali dengan elektron yang lain. Pergerakan *hole* dari satu titik merupakan proses pemindahan muatan negatif dalam arah yang berlawanan. *Hole* pada suatu atom merupakan muatan positif yang besarnya sama dengan elektron sehingga arus dapat dihasilkan melalui dua hal yaitu pergerakan elektron bebas pada pita konduksi dan pergerakan elektron akibat pembentukan *hole* pada pita valensi. Pergerakan elektron dari dua pita energi akan mengakibatkan timbulnya arus pada terminal sel surya yang terhubung dengan beban (Setiawan, 2015).

2.4.2 Jenis-jenis Sel Surya

1. *Single Crystalline*

Yaitu kristal yang mempunyai satu jenis macamnya, tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Jenis *single cristalline* antara lain:

a. *Gallium Arsenide Cell*

Gallium arsenide cell sangat efisien dari semua sel, tapi harganya sangat mahal. Efisiensi dari sel ini mampu mencapai 25 persen.

b. *Cadmium Sulfide Cell*

Cadmium sulfide cell ini merupakan suatu bahan yang dapat dipertimbangkan dalam pembuatan panel surya, karena harga yang murah dan mudah dalam proses pembuatannya.

2. *Polycrystalline Cell*

Polycrystalline cell merupakan kristal yang banyak macamnya, terbuat dari *crystal silicon* dengan efisiensi 10-12 persen.

3. *Amorphous Silicon Cell*

Amorphous berarti tidak memakai kristal struktur non kristal, bahan yang digunakan berupa proses *film* yang tipis dengan efisiensi sekitar 4-6 persen.

4. *Copper Indium Diselenide Cell*

Bahan *semikonduktor* yang aktif dalam sel surya CIS adalah *copper indium diselenide*. Senyawa CIS sering juga merupakan paduan dengan gallium dan belerang. Efisiensi sekitar 9-11 persen

5. *Cadmium Telluride (CdTe) Cell*

Panel surya CdTe diproduksi pada substrat kaca dengan lapisan konduktor TCO transparan biasanya terbuat dari *indium tin oxide* (ITO) sebagai kontak depan. Efisiensi 1 persen hingga 8,5 persen per efisiensi modul.

6. *Dye Sensitized*

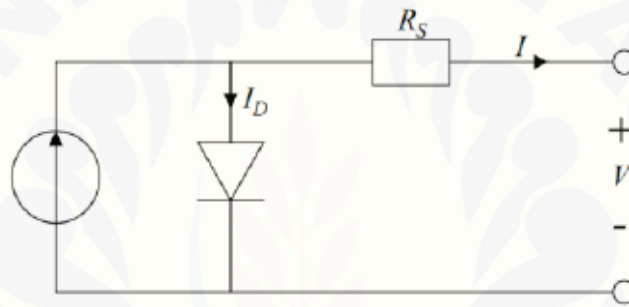
Prinsip kerja *Dye sensitized* yaitu menyerap cahaya dalam pewarna organik mirip dengan cara dimana tanaman menggunakan klorofil untuk menangkap energi dari sinar matahari dengan fotosintesis (*Weller, 2008*).

2.5 Analisis Solar Photovoltaic System (SPS)

Sel surya adalah sel semikonduktor sebagai sumber energi listrik sel surya terdiri dari sel tunggal dalam susunan seri-paralel membentuk modul/panel surya dan menjadi *array* apabila terdiri dari kumpulan modul/panel surya. Ketika sel atau modul disusun secara seri maka akan menghasilkan arus yang sama dan tegangan bertambah sedangkan dalam susunan paralel akan menghasilkan tegangan yang sama namun jumlah arus lebih besar. Sifat dari sel surya adalah *non linier*, sehingga untuk memahami arus dan tegangannya tidak mudah

diungkapkan secara matematik. Untuk dapat menjelaskan keadaan arus dan tegangan pada sel surya yang diberi radiasi iluminasi, maka ditinjau terlebih dahulu bentuk rangkaian pengganti sel surya. (Karina , 2012).

Sel surya dapat dimodelkan sebagai sumber arus yang diparalelkan dengan diode. Ketika tidak ada cahaya untuk membangkitkan arus listrik, maka sel surya berjalan seperti diode (I_D). Ketika intensitas cahaya meningkat maka sel surya berfungsi sebagai sumber energi dan arus (I_L) atau *fotolistrik* dapat dibangkitkan oleh sel surya tersebut. Sel surya biasanya dapat dimodelkan dengan rangkaian pengganti satu dioda (Karina , 2012) ,seperi pada Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Model dioda tunggal untuk rangkaian ekuivalen PV (Sumber: Karina , 2012)

Persamaan model dioda tunggal yang digunakan untuk menggambarkan arus operasional yang dihasilkan modul PV dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 I &= I_L - I_0 \left[\exp \left[\frac{V + IR_s}{N_s n_i V_t} \right] - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \\
 &= I_L - I_0 \left[\exp \frac{V + IR_s}{m V_t} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

dengan I_L arus yang dibangkitkan cahaya (A), I_0 arus jenuh balik pada sambungan dioda p-n (A), R_s hambatan seri pada sel PV (Ω), R_{sh} hambatan *shunt* sel PV (Ω), N_s jumlah sel yang tersusun seri, n_i faktor ideal dioda, dan $m = N_s n_i$ parameter tunggal dan V_t tegangan termal (V) yang dinyatakan sebagai :

$$V_t = \frac{kT_c}{q} \quad (2.2)$$

dengan T_c temperatur sel (K), k konstanta Boltzmann (JK^{-1}) dan q muatan elektron (C). Hambatan *shunt* atau hambatan paralel R_{sh} menunjukkan arus yang bocor (*leakage*) pada sambungan p-n dioda, dimana nilainya untuk PV modul silikon sekitar $0.1^{-10} \Omega \text{ m}^2$.

Produksi energi dari sistem PV ditentukan berdasarkan estimasi arus dan tegangan yang dihasilkan modul PV, dimana daya keluaran PV tergantung pada karakteristik teknis dan parameter lingkungan. Oleh karena itu, model PV meliputi parameter listrik pada kondisi standar dan $\mu_{I,sc}$ koefisien temperatur *short circuit current*, I_{sc} dan $\mu_{v,oc}$ koefisien temperatur *open circuit voltage*, V_{oc} . Nilai I_{sc} dan V_{oc} ditentukan berdasarkan persamaan dengan meninjau parameter lingkungannya:

$$I_{sc} = I_{sc, ref} \frac{G}{G_{ref}} + \mu_{I,sc} (T_c - T_{c, ref}) \quad (2.3)$$

$$V_{oc} = V_{oc, ref} + mV_t \ln \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) + \mu_{v, oc} (T_c - T_{c, ref}) \quad (2.4)$$

Berdasarkan definisi, efisiensi konversi PV dinyatakan sebagai rasio antara energi keluaran yang dihasilkan (energi listrik) terhadap energi matahari yang sampai dipermukaan PV, sehingga efisiensi energi maksimum dinyatakan sebagai berikut :

$$\eta_{en} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{A \times T_s} \quad (2.5)$$

dengan V_{oc} (V) menyatakan *open circuit voltage*, I_{sc} *short circuit current* (A), T_s radiasi global Matahari jam-an (W/m^2), dan A luas permukaan modul PV (m^2) (Hamdani, 2012).

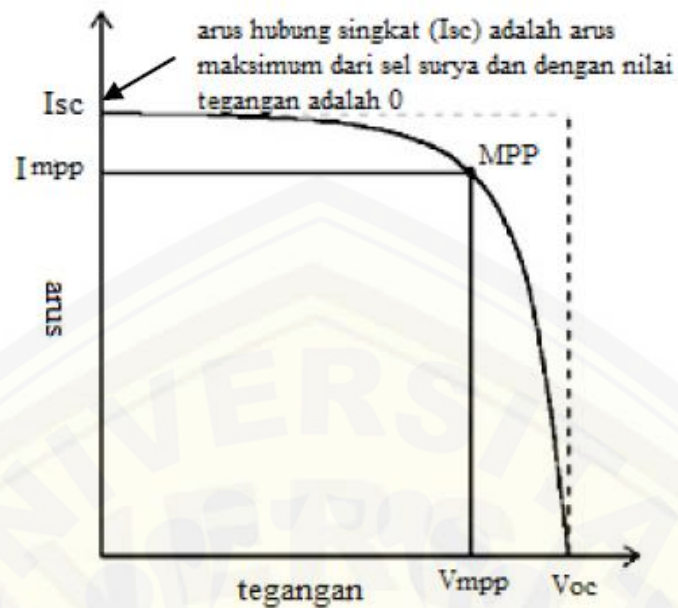
2.6 Panel Surya

Panel surya terdiri dari susunan sel surya yang dihubungkan secara seri. Sel surya berfungsi mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya umumnya dibuat dari silikon yang merupakan bahan semikonduktor. Daya yang dihasilkan sebuah panel surya bergantung pada radiasi matahari yang diterima, luas permukaan panel dan suhu panel. Daya yang dihasilkan semakin besar jika radiasi dan luas permukaan lebih besar, sedang kenaikan suhu mengakibatkan penurunan daya. Parameter panel surya yang paling berpengaruh pada kurva daya, yaitu arus hubung singkat (I_{sc}) dan tegangan hubung terbuka (V_{oc}) untuk parameter internal, sedangkan parameter *eksternalnya* meliputi suhu dan *irradiance*. Daya maksimum dan efisiensi turut dimasukkan dalam pembahasan karena merupakan parameter yang umum digunakan untuk membandingkan panel surya modul (Utomo, 2016).

2.6.1 Arus Hubung Singkat (I_{sc}) Pada Panel Surya

I_{sc} adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh panel surya dengan cara menge-*short*-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul panel surya. Dan nilai I_{sc} akan terbaca pada *amperemeter*. Arus yang dihasilkan modul panel surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul panel surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan (Satwiko, 2012).

Pada kondisi ideal tanpa rugi daya I_{sc} sama dengan I_L . I_{sc} bergantung linear terhadap *irradiance* dan dipengaruhi beberapa hal lain yaitu luas area modul panel surya, *spectrum* cahaya dan parameter optik lain. Modul panel surya komersial memiliki nilai I_{sc} yang bervariasi antara 28 mA/cm² sampai dengan 35 mA/cm² (Satwiko, 2012).

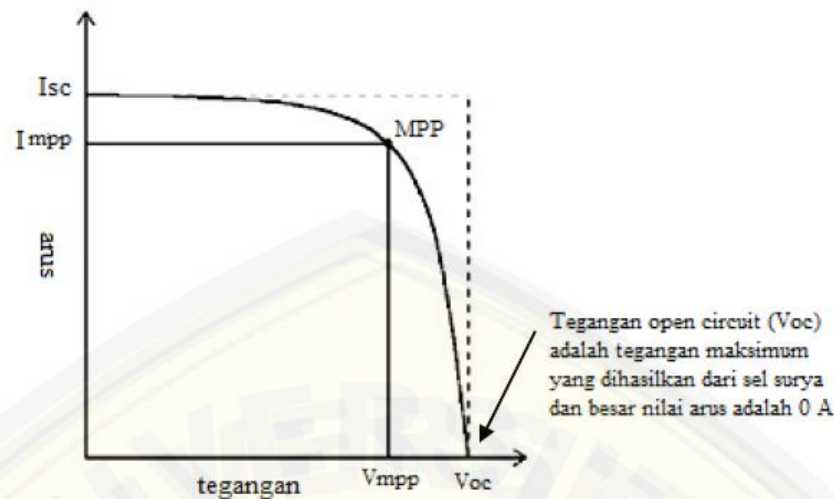


Gambar 2.4 Kurva I-V *solar cell* yang menunjukkan arus *short circuit* (Sumber : Utomo, 2016)

2.6.2 Tegangan Hubung Terbuka (V_{oc}) Pada Panel Surya

V_{oc} adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengan nol. Cara untuk mencapai *open circuit* (V_{oc}) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif modul panel surya dengan *voltmeter*, sehingga akan terlihat nilai tegangan *open circuit* panel surya pada *voltmeter* (Satwiko, 2012).

Pada temperatur konstan, V_{oc} berskala logaritmik terhadap I_L (Arus yang dihasilkan oleh cahaya) dan arena I_L bergantung linear terhadap *irradiance* maka V_{oc} berskala logaritmik juga terhadap *irradiance*. Hal ini menyimpulkan bahwa *irradiance* lebih berpengaruh terhadap I_L daripada V_{oc} . Hal ini juga mengindikasikan bahwa V_{oc} tidak bergantung pada luas area modul panel surya (Utomo, 2016).



Gambar 2.5 Kurva IV *solar cell* yang menunjukkan tegangan *open circuit* (Sumber : Utomo, 2016)

2.6.3 Pengaruh *Irradiance* Terhadap Panel Surya

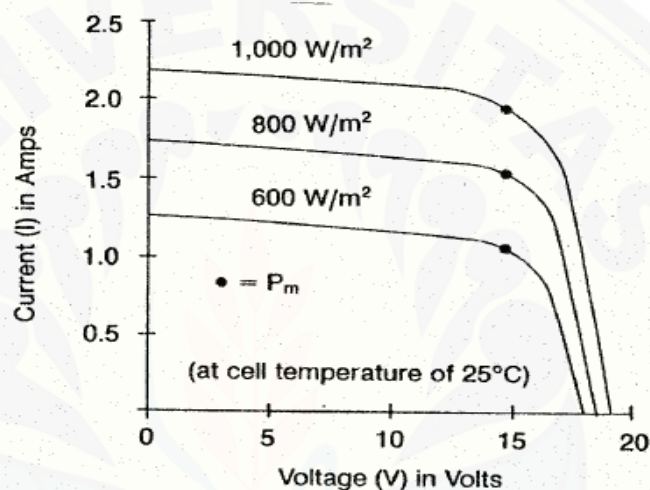
Radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa *range* panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan 4 mikron. Sebagian radiasi mengalami *refleksi* di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*). Kedua radiasi ini yang dipakai untuk mengukur besaran radiasi yang diterima panel surya. Besaran – besaran penting untuk mengukurnya adalah:

- Spectral irradiance* I_λ - Daya yang diterima oleh satu unit area dalam bentuk *differensial* panjang gelombang $d\lambda$, satuan $W/m^2 \mu m$.
- Irradiance* - *Integral* dari *spectral irradiance* untuk keseluruhan panjang gelombang, satuan W/m^2 .
- Radiasi* - *Integral* waktu dari *irradiance* untuk jangka waktu tertentu. Oleh sebab itu, satuannya sama dengan satuan energi, yaitu $J/m^2 - \text{hari}$, $J/m^2 - \text{bulan}$ atau $J/m^2 - \text{tahun}$.

Di antara ketiga besaran tersebut yang akan digunakan dalam analisa adalah W/m^2 karena satuan ini yang biasa dipakai dalam *data sheet*, sedangkan besaran radiasi biasanya digunakan untuk menghitung estimasi daya keluaran pada instalasi sistem. *Irradiance* merupakan sumber energi bagi panel surya,

sehingga keluarannya sangat bergantung oleh perubahan *irradiance*. Gambar 2.6 memberikan contoh perubahan *irradiance* terhadap kurva daya modul surya.

Gambar 6 keluaran daya berbanding lurus dengan *irradiance*. I_{sc} lebih terpengaruh oleh perubahan *irradiance* dari pada V_{oc} . Sesuai dengan penjelasan cahaya sebagai paket – paket *foton*. Pada saat *irradiance* tinggi, yaitu pada saat jumlah *foton* banyak, arus yang dihasilkan juga besar. Demikian pula sebaliknya, sehingga arus yang dihasilkan berbanding lurus terhadap jumlah *foton* (Utomo, 2016).



Gambar 2.6 Kurva V-I terhadap perubahan *irradiance* (Sumber: Mintorogo, 2000)

Pengujian panel surya pada *datasheet* umumnya dilakukan pada *Standard Test Condition* (STC), yaitu *Air Mass* (AM) 1,5, *irradiance* 1000 W/m² dan temperatur 25⁰C. Dalam kondisi nyata, nilai *irradiance* tidak mencapai nilai tersebut, bergantung dari posisi lintang, posisi matahari dan kondisi cuaca. Nilai *irradiance* pada lokasi tertentu juga bervariasi dari bulan ke bulan (Sawitko, 2012).

2.6.4 Daya Pada Panel Surya

Intensitas cahaya menentukan besarnya daya dari energi sumber cahaya yang sampai pada seluruh permukaan panel surya. Jika luas permukaan panel surya dengan intensitas tertentu maka daya *input* panel surya adalah (Amalia dan Satwiko, 2012) :

$$P_{in} = JA \quad (2.6)$$

dengan

P_{in} = Daya yang diterima akibat *irradiance* matahari (watt)

J = Intensitas cahaya (W/m^2)

Besarnya daya *output* panel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka V_{oc} , arus hubung singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh panel surya dapat dihubungkan dengan rumus (Amalia dan Satwiko, 2012).

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2.7)$$

dengan

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh panel surya (watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada panel surya (ampere)

FF = *Fill factor*

2.6.5 Fill Factor

Factor pengisian *fill factor* merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimal dan tegangan *open circuit* dan arus *short circuit*.

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.8)$$

dengan

V_{max} = Tegangan pada saat panel surya mencapai *max* (volt)

I_{sc} = Arus pada saat panel surya mencapai *max* (ampere)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada panel surya (ampere)

Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur luas persegi pada karakteristik I.V suatu panel surya. Harga *fill factor* dapat merupakan fungsi V_{oc} . Secara empiris hubung singkat antara *fill factor* dengan V_{oc} adalah (Amalia dan Satwiko, 2012).

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (2.9)$$

2.6.6 Efisiensi Panel Surya

Perbandingan performansi antara satu modul surya dengan modul surya lainnya umumnya dilihat dari efisiensinya. Banyaknya energi matahari dalam bentuk *foton* yang diserap panel surya menentukan efisiensinya. Efisiensi modul surya didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan dihitung sebagai *irradiance* yang diterima oleh permukaan panel surya. Nilai efisiensi keluaran maksimal didefinisikan sebagai *prosentase* keluaran daya optimal terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai (Utomo, 2016).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.10)$$

dengan

η = Efisiensi panel surya

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh panel surya (watt)

P_{in} = Daya yang diterima akibat *irradiance* matahari (watt)

2.6.7 Energi Listrik

Energi listrik merupakan besaran fisika yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk melakukan kerja. Energi listrik disimpan dalam bentuk arus dengan satuan *ampere* dan dalam bentuk tegangan dalam satuan *volt*. Energi listrik merupakan perkalian antara besarnya daya suatu benda dikalikan dengan lamanya waktu penggunaan daya tersebut. Energi listrik bisa di rumuskan sebagai berikut (Mintorogo, 2000).

$$W = P \times t \quad (2.11)$$

Dimana ;

W : Energi listrik (Joule)

P : Daya (watt)

t : Waktu (s)

2.7 Arduino UNO R3

Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *outputpulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler.

“Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduino 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduino berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial. Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 volt dan dapat menerima arus 40 mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50 k Ω yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*).

Beberapa pin pada Arduino UNO memiliki fungsi khusus :

- a. Serial, terdiri dari 2 pin : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX) yang digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial.
- b. External Interrupts, yaitu pin 2 dan pin 3. Kedua pin tersebut dapat digunakan untuk mengaktifkan interrupts. Gunakan fungsi *attachInterrupt()*
- c. PWM: Pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi *analogWrite()*
- d. SPI : Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI Library
- e. LED : Pin 13. Pada pin 13 terhubung built-in led yang dikendalikan oleh digital pin no 13.
 - a. TWI : Pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan Wire Library.

Gambar 2.7 Arduino UNO-R3 (Sumber : www.arduino.com)

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO-R3

Name	Spesifikasi
<i>Microcontroller</i>	ATmega328
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (limit)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of which 6 provide PWM output)
<i>PWM Digital I/O Pins</i>	6
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	20 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	2 KB
<i>EEPROM</i>	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>LED_BUILTIN</i>	13
<i>Length</i>	68.6 mm
<i>Width</i>	53.4 mm
<i>Weight</i>	25 g

2.8 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang disebut *step* (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360° dengan jumlah langkah yang tertentu perderajatnya. Ukuran kerja dari motor *stepper* biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik.

Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali

motor *stepper* yang membangkitkan pulsa – pulsa periodik. Pada dasarnya terdapat 3 tipe motor *stepper* yaitu:

1. Motor *Stepper Tipe Variable Reluctance (VR)*

Motor *stepper* jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi termagnetasi. Perputaran terjadi ketika gigi – gigi rotor tertarik oleh kutub – kutub stator.

2. Motor *Stepper Tipe Permanent Magnet (PM)*

Motor *stepper* jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (*tin can*) yang terdiri atas lapisan magnet permanen yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan. Dengan adanya magnet permanen, maka intensitas *fluks* magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (*step*) yang rendah yaitu antara $7,5^\circ$ hingga 15° per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya.

3. Motor *Stepper Tipe Hybrid (HB)*.

Motor *stepper* tipe *hybrid* memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor *stepper* sebelumnya. Motor *stepper tipe hybrid* memiliki gerigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor tipe *hybrid* dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya.

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendali motor *stepper*, motor *stepper* dapat dibagi menjadi jenis *unipolar* dan *bipolar*.

a. Motor *Stepper* Jenis *Unipolar*

Rangkaian pengendali motor *stepper unipolar* lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu *switch* / transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa *digital* yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (*ground*) pada salah satu terminal lilitan (*wound*) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (*center tap*) dari lilitan.

b. Motor *Stepper* Jenis *Bipolar*

Untuk motor *stepper* dengan lilitan *bipolar*, diperlukan sinyal pulsa yang berubah – ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks dari pada rangkaian pengendali untuk motor *unipolar*. Motor *stepper bipolar* memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor *stepper unipolar* dalam hal torsi yang lebih besar untuk ukuran yang sama (Elektronika dasar motor *stepper*).

Motor *stepper* memiliki karakteristik yang lebih dibandingkan motor DC seperti berikut:

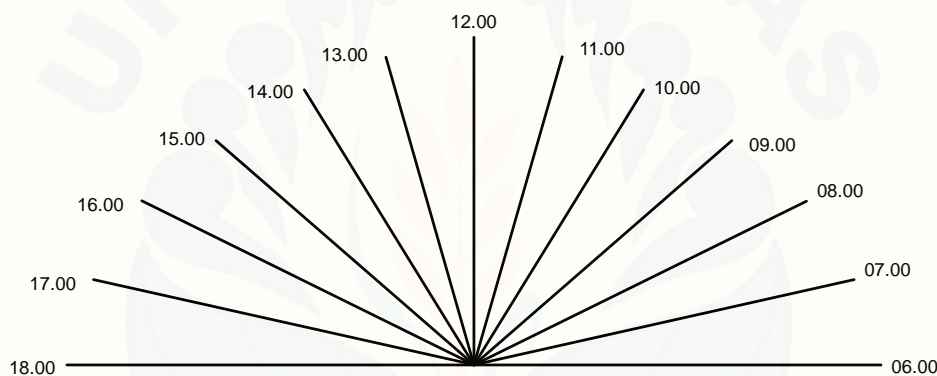
1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa *input* sehingga lebih mudah diatur.
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
4. Memiliki *respon* yang sangat baik terhadap *start*, *stop* dan berbalik putar.
5. Sangat *relibel* karena tidak adanya *brush* yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC.
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada *range* yang luas (Utomo, 2016).

2.9 Bumi Terhadap Matahari

Posisi Matahari berubah setiap saat karena rotasi bumi. Bumi berotasi sebesar 360° dari timur menuju barat pada garis bujur dengan periode rotasi 23jam 56 menit 4,09 detik (~ 24 jam). Dari data tersebut dapat diambil suatu tetapan dalam satuan waktu bahwa setiap 1° bujur ditempuh dalam waktu:

$$\frac{1}{360^{\circ}} \times (24 \times 60) = 4 \text{ menit} \quad (2.12)$$

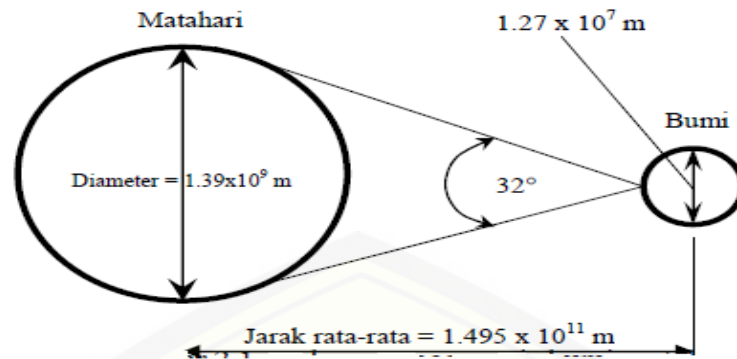
Dari persamaan diatas maka dapat diketahui bahwa setiap bumi berotasi sebesar 15° bujur akan ditempuh dalam waktu 1 jam (Utomo, 2016).



Gambar 2.8 Timing waktu setiap 15° (Sumber : Utomo, 2016)

2.9.1 Konstanta Surya

Hubungan geometris dari matahari-bumi ditunjukkan Gambar 2.9 Jarak eksentrisnya dari lintasan bumi adalah jarak antara matahari dan bumi dengan variasi 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi-matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m, dengan sudut kecenderungan matahari 32° . Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari, G_{sc} , adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. *World Radiation Center* (WRC) mengambil nilai konstanta matahari, G_{sc} , sebesar 1367 W/m sebesar 1 %. (Mulyono, 2003).



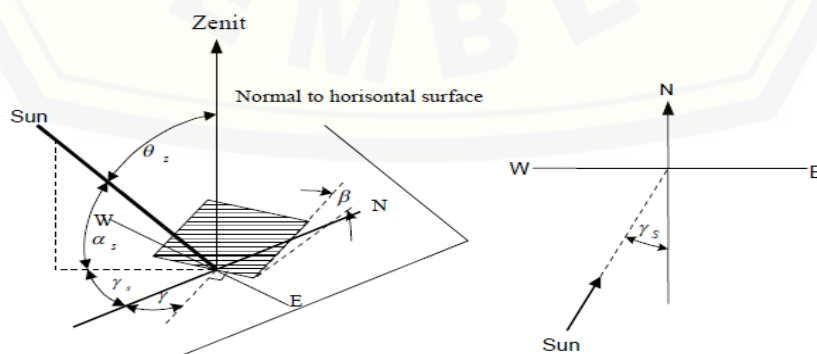
Gambar 2.9 Hubungan geometris bumi-matahari (Sumber: Mulyono, 2003)

Konstanta radiasi ekstraterrestrial, G_{on} , yaitu radiasi di luar atmosfer bumi yang diukur pada bidang normal terhadap radiasi pada hari ke- n pada satu tahun. Hal ini dikarenakan orbit bumi sebenarnya berbentuk *elips*, sehingga perlu sedikit koreksi terhadap konstanta matahari di atas. Jadi sebenarnya ada dua penyebab adanya variasi radiasi ekstraterrestrial yaitu variasi radiasi yang diemisikan matahari dan variasi jarak matahari-bumi. Persamaannya (Mulyono, 2003) adalah

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (2.13)$$

2.9.2 Pengaruh Posisi Relatif Matahari Terhadap Bumi

Posisi relatif matahari terhadap suatu bidang di bumi bisa dinyatakan dalam beberapa sudut. Beberapa diantaranya bisa dilihat pada gambar 2.10. Sudut sudut itu (Mulyono, 2003) adalah:



Gambar 2.10 Beberapa sudut penting dalam energi surya (Sumber: Mulyono, 2003)

- a. ϕ , *latitude* (garis lintang) : Sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif ; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- b. δ , *declination* (deklinasi) : Sudut posisi matahari saat *solar noon* yang berhubungan terhadap bidang khatulistiwa, utara positif; $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$.
- c. β , *slope* (kemiringan) : Sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal ; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- d. γ , *surface azimuth angle* (sudut permukaan azimuth) : Proyeksi ke bidang horisontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif ; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- e. ω , *hour angle* (sudut jam) : Sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam ; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.
- f. θ , *angle of incidence* (sudut datang) : Sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor.
- g. θ_z , *zenith angle* (sudut zenith) : Sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari.
- h. α_s , *solar altitude angle* (sudut ketinggian matahari) : Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang.
- i. γ_s , *solar azimuth angle* (sudut azimuth matahari) : Sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.

2.9.3 Menentukan Sudut Datang Radiasi Matahari Ke Reflektor

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan menggunakan *reflector* sehingga memberikan penambahan radiasi melalui pantulan dari *reflektor*. Persamaan yang menghubungkan antara sudut datang dari *beam radiation* pada permukaan kolektor dengan sudut lain (Utomo, 2016) adalah:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.14)$$

Berdasarkan dari rumus dari sudut datang matahari dapat diperhitungkan sebagai (Utomo, 2016) berikut:

$$\begin{aligned} \cos \theta_r = & (\sin \delta \sin \phi \cos \beta_r) - (\sin \delta \cos \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r) + \\ & (\cos \delta \cos \phi \cos \beta_r \cos \omega) + (\cos \delta \sin \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r \cos \omega) \\ & + (\cos \delta \sin \beta_r \sin \gamma_r \sin \omega) \end{aligned} \quad (2.15)$$

dengan

- θ_r = Merupakan sudut datang radiasi ke *reflector*
- δ = Merupakan sudut deklinasi
- ϕ = Merupakan sudut lintang dari tempat pengambilan data
- β_r = Sudut *stop reflector*
- γ_r = Sudut azimuth *reflector*
- ω = Sudut jam derajat.

Pada persamaa diatas kita terlebih dahulu menentukan sudut lintang yang diperoleh dari pengukuran titik tempat pengujian. Sudut *stop reflektor* diperoleh dari sudut yang dibentuk dari hasil pemberhentian reflektor setiap selesai melakukan *scanning* daya. Sedangkan untuk mendapatkan sudut *deklinasi* dapat dilakukan perhitungan dengan rumus :

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (2.16)$$

dengan nilai n adalah tanggal ke-n pada suatu tahun.

Untuk menghitung sudut azimuth dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma_r = \gamma + 90^0 \quad (2.17)$$

dengan : $\sin \gamma = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_r}$

Untuk menghitung sudut jam dapat dihitung dengan rumus:

$$\omega = (t_s - 12) \times \frac{360}{24} \quad (2.18)$$

dimana t_s diambil dari jam tengah antara jadwal jam awal pengambilan data dan jam akhir pengambilan data (Utomo, 2016)

2.9.4 Menentukan Radiasi Pantulan dari Reflektor

Pada penelitian ini juga akan di analisis mengenai sudut radiasi pantul dari *reflektor*. Untuk menentukan radiasi pantul oleh reflektor diperlukan beberapa langkah-langkah sebagai berikut :

a. Menentukan Radiasi *Ekstraterestial* Pada Bidang *Horizontal*

$$G_0 = G_{SC} \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \right) \right] (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta) \quad (2.19)$$

dengan: G_{SC} = Konstanta matahari 1353 W/m^2

b. Menentukan Indeks Langit

$$K_T = \frac{G}{G_0} \quad (2.20)$$

c. Menentukan Radiasi Langsung

$$G_b = G - G_d \quad (2.21)$$

Dengan

$$G_d = G(0,9511 - 0,1604 k_T + 4,388 k_T^2 - 16,638 k_T^3 + 12,336 k_T^4) \quad (2.22)$$

d. Menentukan Faktor Geometri *Reflektor*

$$R_{b_r} = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_z} \quad (2.23)$$

dengan: $\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$

Untuk menentukan radiasi dari *reflector* cermin datar yang menimpa pada panel surya kita dapat menghitungnya dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Utomo, 2016)

$$GT = G_b \cdot R_{br} \cdot A_{Rr} \cdot \rho_r \quad (2.24)$$

dengan: GT = radiasi masukan *reflector*

G_b = Radiasi langsung

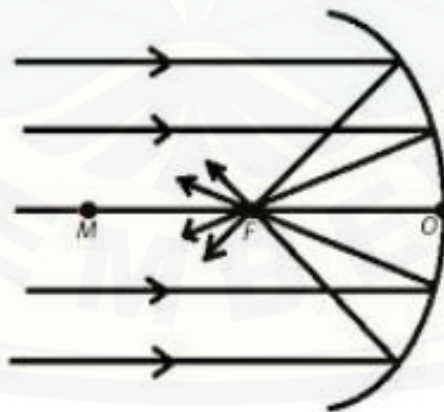
R_{br} = Faktor geometri *reflektor*

A_{Rr} = Rasio luasan yang terkena radiasi *reflector* (1)

ρ_r = Konstanta pantulan difusi (0,85)

2.10 Cermin Cekung

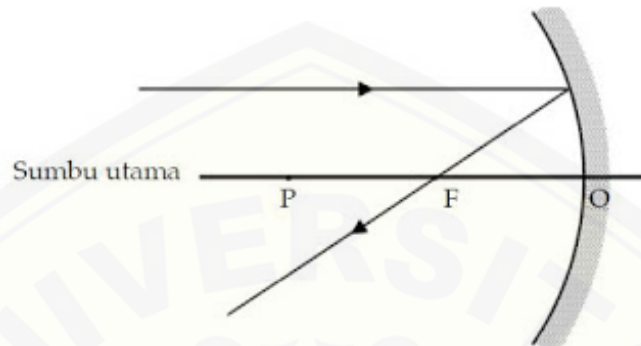
Cermin cekung merupakan suatu cermin yang memiliki penampang yang cekung seperti mangkuk. Cermin cekung disebut juga cermin konvergen karena bersifat mengumpulkan sinar pantul. Titik berkumpulnya sinar pantul disebut titik fokus atau titik api. Pantulan cermin cekung pada titik fokus dapat digambarkan seperti Gambar 2.11 (Setiawan, 2015).



Gambar 2.11 Pantulan cermin cekung (Sumber : Setiawan, 2015)

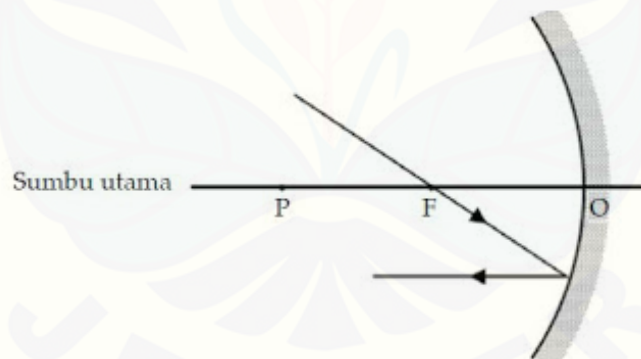
Seperti halnya pada cermin datar, pada cermin cekung berlaku hukum pemantulan cahaya. Pada cermin cekung terdapat beberapa sinar istimewa yang berlaku pada hukum pemantulan cahaya, yaitu sebagai berikut:

1. Sinar datang yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui titik fokus cermin.



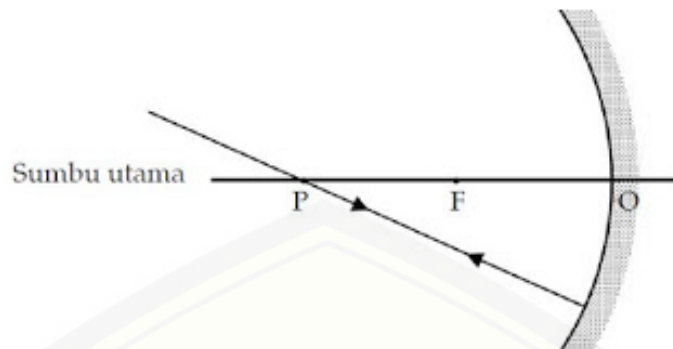
Gambar 2.12 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang sejajar sumbu utama (Sumber : www.bukupedia.net)

2. Sinar datang yang melalui titik fokus cermin akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



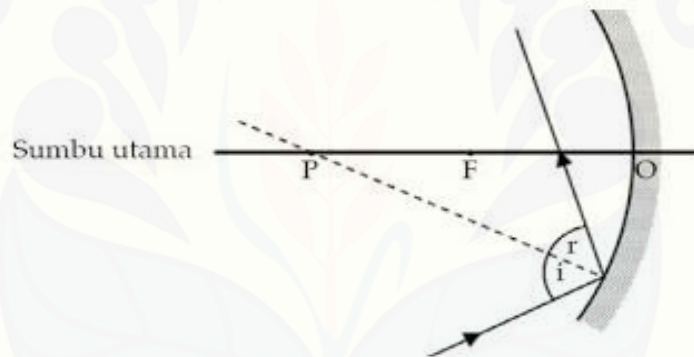
Gambar 2.13 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang melalui titik fokus (Sumber : www.bukupedia.net)

3. Sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan cermin akan dipantulkan kembali melalui titik yang sama.



Gambar 2.14 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang melalui titik pusat kelengkungan (Sumber : www.bukupedia.net)

4. Sinar datang dengan arah sembarang akan dipantulkan sedemikian sehingga sudut datang sama dengan sudut pantul.



Gambar 2.15 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang dari arah sembarang (Sumber : www.bukupedia.net)

Untuk mendapatkan pantulan cahaya yang tepat, dibutuhkan *spesifikasi* cermin cekung yang sesuai dengan kebutuhan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan sebuah perhitungan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Panjang Busur} = \frac{\text{Besar Sudut Juring} \times 2\pi}{360^\circ} \quad (2.25)$$

6.11 Data Logger

Data logger merupakan sistem yang berfungsi untuk merekam data ke dalam media penyimpanan data. Data logger memiliki kapasitas penyimpanan yang cukup besar sehingga data yang terekam dapat ditampilkan dalam grafik

dengan durasi yang cukup lama. Sistem data logger ini dibangun dari modul arduino sebagai pengendalinya dan menggunakan SD Card sebagai media simpannya. Dengan media ini kita dapat menyimpan data yang sangat besar, layaknya sebuah hardisk yang diisi file teks / txt file. Kapasitas SD Card dalam data logger ini dapat menyimpan data selama 738 hari yang menyimpan data perdetik melalui pembacaan data suatu sensor, mikrokontroler digunakan untuk pengendalian sistem kerja dari rangkaian (Setiaji, 2016).



Gambar 2.16 Data Logger (Sumber : Setiaji, 2016)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian berjudul “Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP“, ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl Slamet Riyadi No. 62 Patrang Jember 68111.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Studi literatur						
2	Perancangan dan pembuatan alat						
3	Pengujian alat						
4	Analisa data						
5	Pembuatan laporan						

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Alat las
2. Bor
3. Gerenda potong
4. Obeng
5. Kunci pas
6. Penggaris siku
7. Meteran
8. Tang buaya
9. Tang potong

10. Solder
11. Termometer suhu
12. Digital multimeter
13. *Solarimeter*
14. *Lux Meter*

3.2.2 Bahan

1. Besi penyangga *photovoltaic module*
2. Panel surya 50 WP *polycrystalline*, dengan *spesifikasi* sebagai berikut:
 - Merek : GH Solar
 - *Model type* : GH-50p-18
 - *Open circuit voltage* (V_{oc}) : 21,6 V
 - *Short circuit current* (I_{sc}) : 3,25 A
 - *Max power voltage* (V_{pm}) : 17,5 V
 - *Max power current* (I_{pm}) : 2,87 A
 - *Tolerance* : 3%
 - *Test condition* : 1000 V/m², 25⁰C
3. Cermin cekung, dengan *spesifikasi* sebagai berikut:
 - Pusat kelengkungan cermin = 27 cm
 - Titik fokus cermin = 13,5 cm
 - Panjang busur cermin = 28,26 cm
4. Resistor
5. Arduino UNO-R3
6. Sensor arus dan tegangan
7. Motor stepper
8. *Modul Data logger* dan *RTC*
9. Memori *Mikro SD*
10. Modul *Easy Driver Motor*

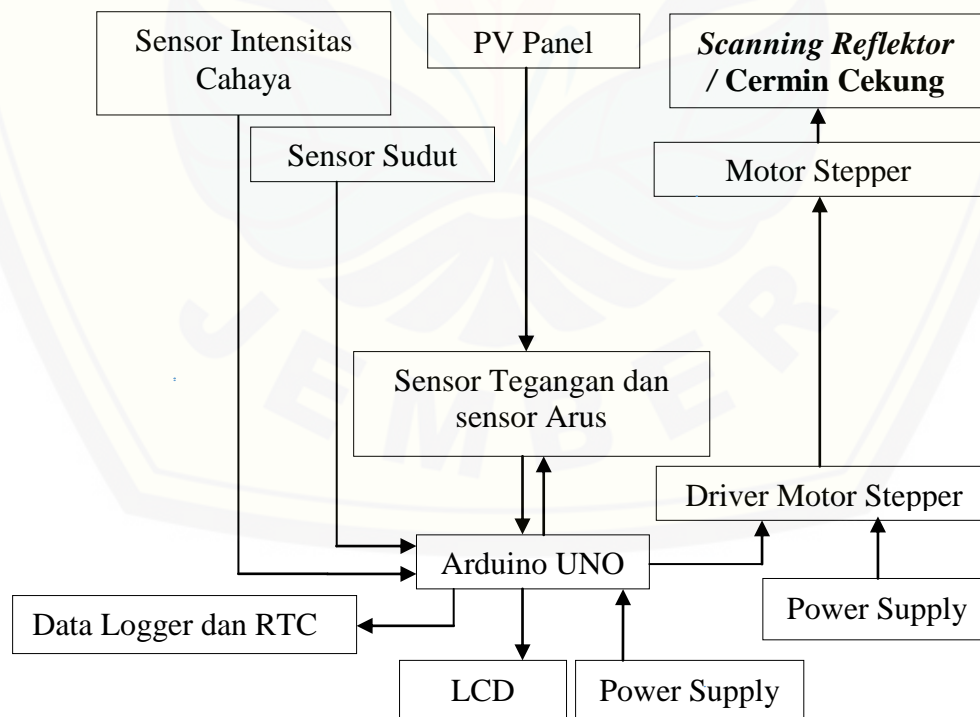
3.3 Konsep Pemikiran Penelitian

Konsep dari pemikiran penelitian ini adalah modul panel surya bercermin *reflektor* (cermin cekung) pada empat buah sisinya dengan *reflektor* sisi barat dan *reflektor* sisi timur dapat bergerak secara otomatis sesuai dengan arah pancaran sinar matahari, sedangkan *reflektor* sisi utara dan *reflektor* sisi selatan dapat diatur secara manual. Pengambilan data dilakukan dengan rentang waktu mulai pukul 07.30 WIB sampai dengan pukul 14.30 WIB. Hasil data perhitungan nantinya akan dianalisis apakah penggunaan *scanning reflektor* cermin cekung mempunyai nilai efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *scanning reflektor* cermin datar.

3.4 Desain Penelitian

3.4.1 Diagram Blok Sistem Pengujian

Dapat kita lihat pada gambar 3.1 tentang alur diagram blok untuk pengujian yang nantinya akan dilakukan pengambilan data.

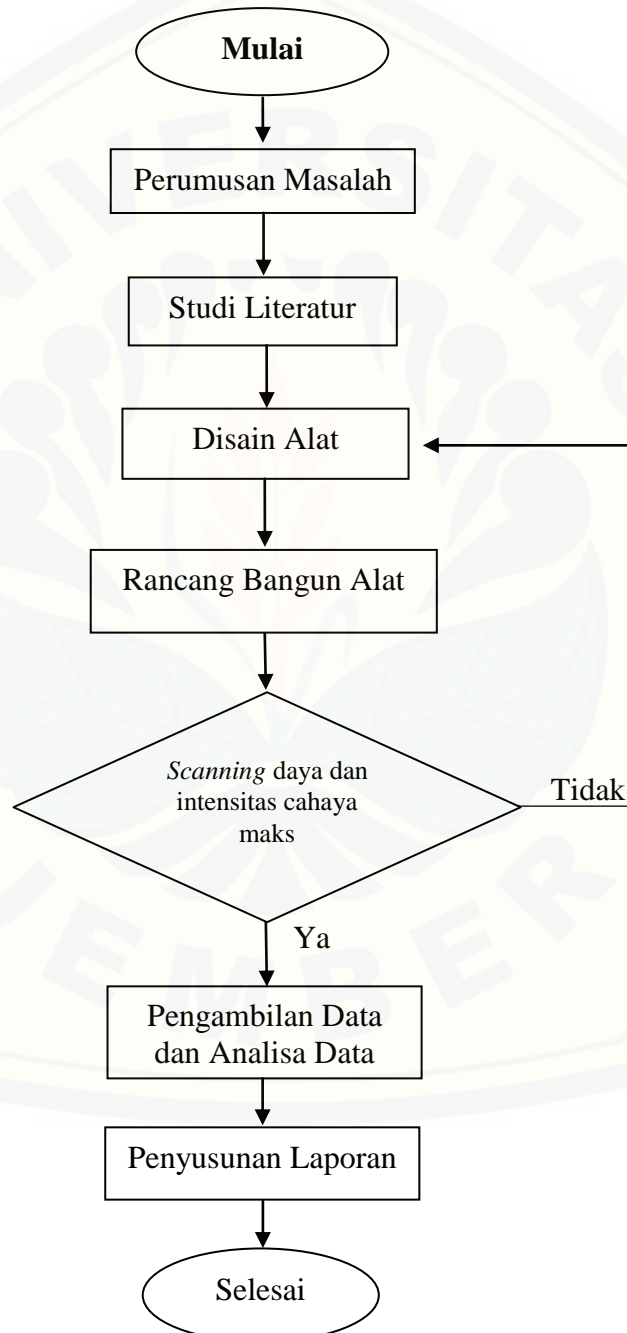


Gambar 3.1 Diagram Blok Penelitian

3.4.2 Flowchart

a. Flowchart Penelitian

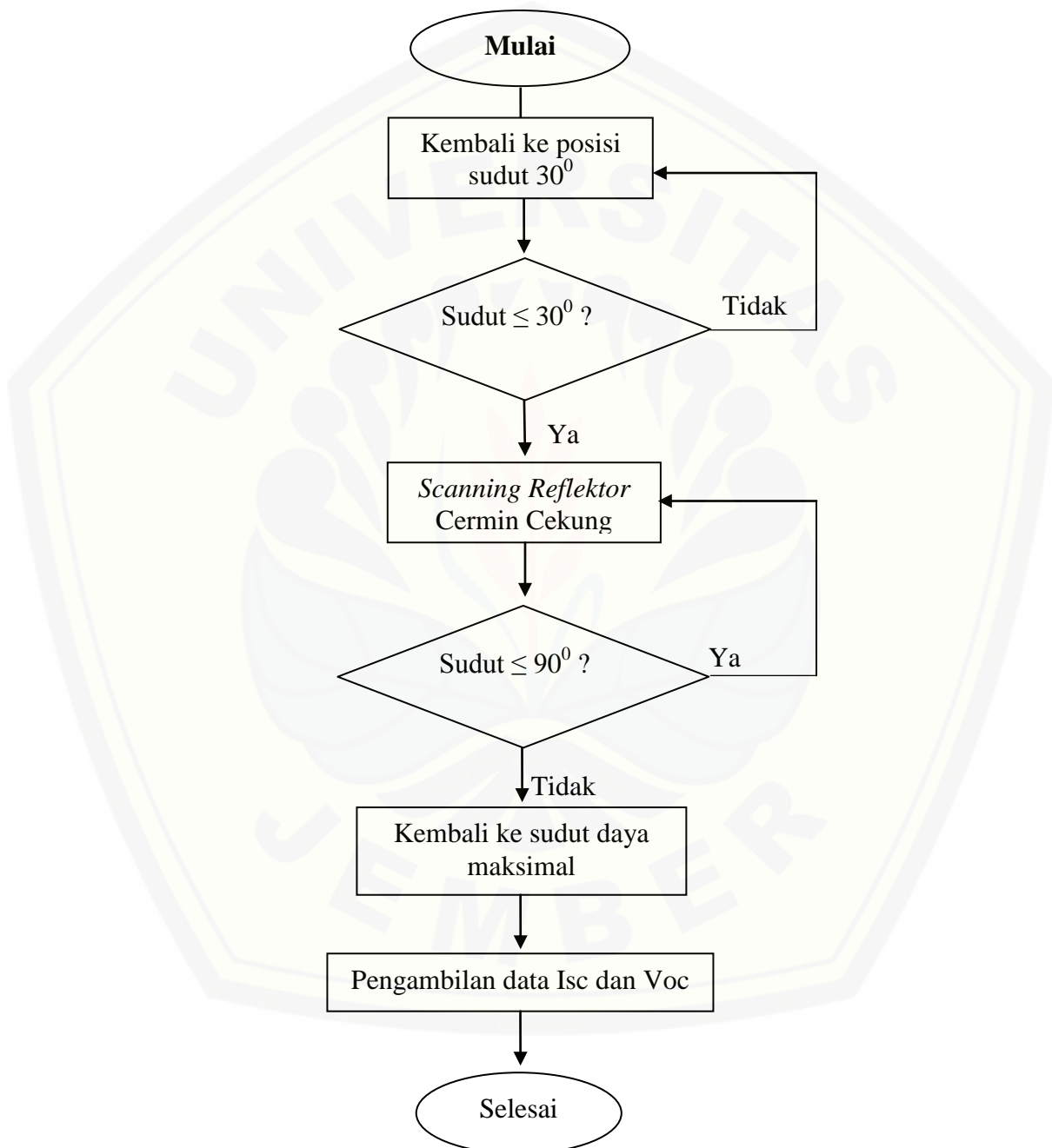
Berikut ini merupakan diagram alir (*Flow Chart*) penelitian tentang “Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP” :



Gambar 3.2 Bagan Alur Rancangan Penelitian

b. *Flowchart* Sistem Pengujian

Berikut ini merupakan diagram alir (*Flow Chart*) sistem pengujian alat tentang “Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP“ :

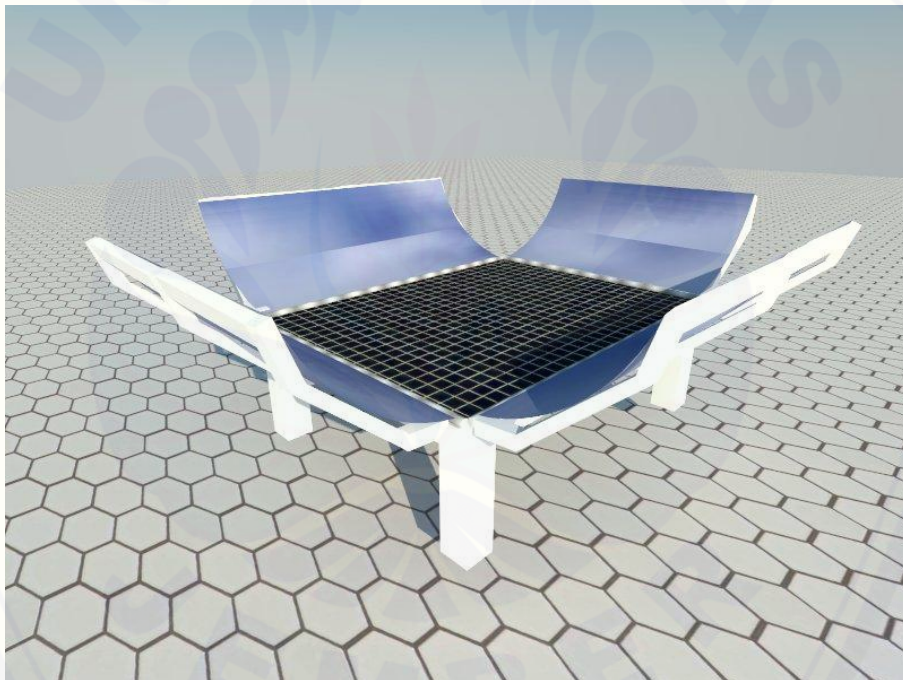


Gambar 3.3 Bagan Alur Rancangan Pengujian Alat

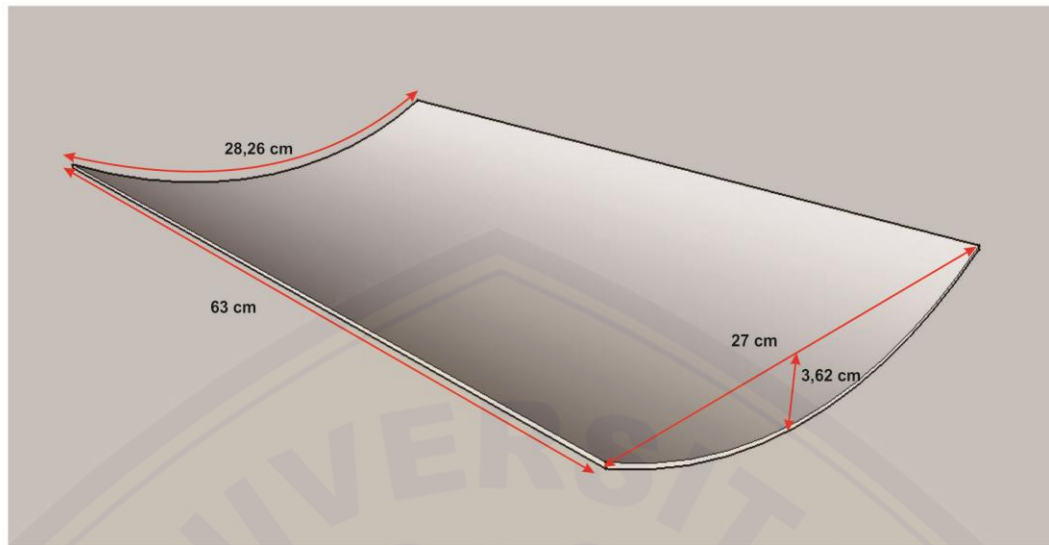
3.5 Desain Alat

Pada penelitian teknologi *scanning reflektor* cermin cekung ini dapat diketahui desain alat sebagai berikut :

Pada gambar 3.4 menjelaskan gambar desain modul surya dengan *reflektor* cermin cekung pada ke-empat buah sisi. Pada keempat *reflektor* didesain dengan menggunakan poros engsel pada setiap perpotongan cermin dengan modul surya dengan *reflektor* arah timur dan barat dapat bergerak otomatis menggunakan motor stepper. Berbeda dengan desain *reflektor* sisi utara dan selatan, kedua sisi tersebut dapat diatur secara manual sesuai dengan sudut semu tahunan matahari.



Gambar 3.4 Desain Modul Panel Surya dan Penempatan Cermin cekung

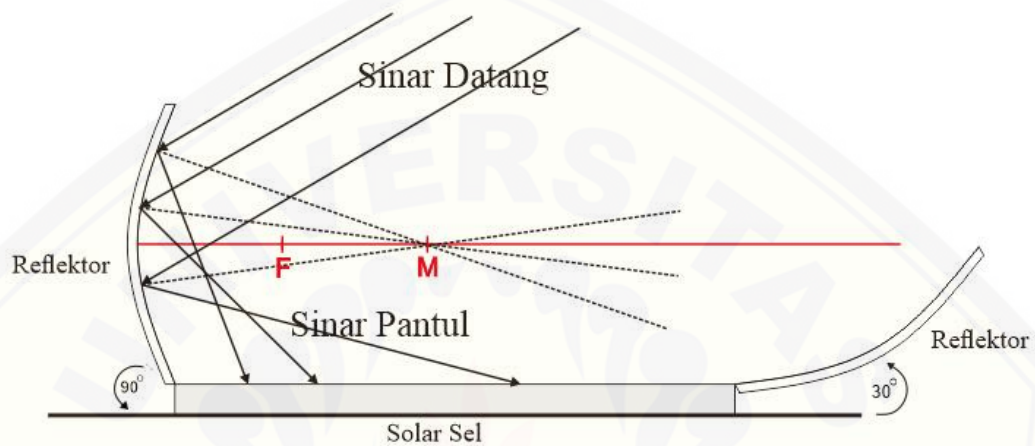


Gambar 3.5 Desain Cermin cekung

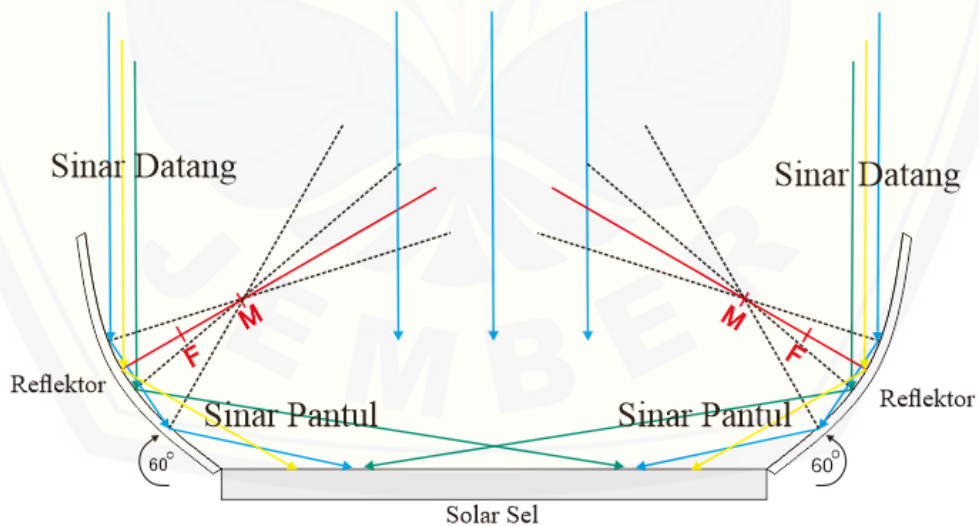
Gambar 3.5 merupakan desain cermin cekung yang akan digunakan sebagai *reflektor* pada penelitian ini. Seperti yang terlihat pada gambar diatas, cermin cekung tersebut memiliki panjang 63 cm dengan titik fokus 13,5 cm, pusat kelengkungan cermin 27 cm, dan panjang busur cermin 28,26 cm. Proses pembuatan cermin cekung membutuhkan beberapa bahan kimia yang diantaranya adalah perak nitrat, kalium hidroksida, ammonia, dekstrosa, dan akuades. Bahan kimia tersebut kemudian dilarutkan ke dalam akuades lalu dicampurkan dengan perbandingan komposisi bahan untuk perak nitrat, kalium hidroksida, dan dekstrosa sebesar 2 : 1 : 0,2 dengan ammonia secukupnya. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan cermin cekung tersebut adalah sebagai berikut :

- Menambahkan ammonia sedikit demi sedikit ke dalam cairan perak nitrat sampai endapan coklat tepat larut.
- Kemudian menambahkan kalium hidroksida ke dalam cairan perak nitrat yang sudah dicampur dengan ammonia.
- Selanjutnya menambahkan ammonia lagi jika endapan coklat terbentuk kembali sampai endapan coklat tersebut tepat larut.

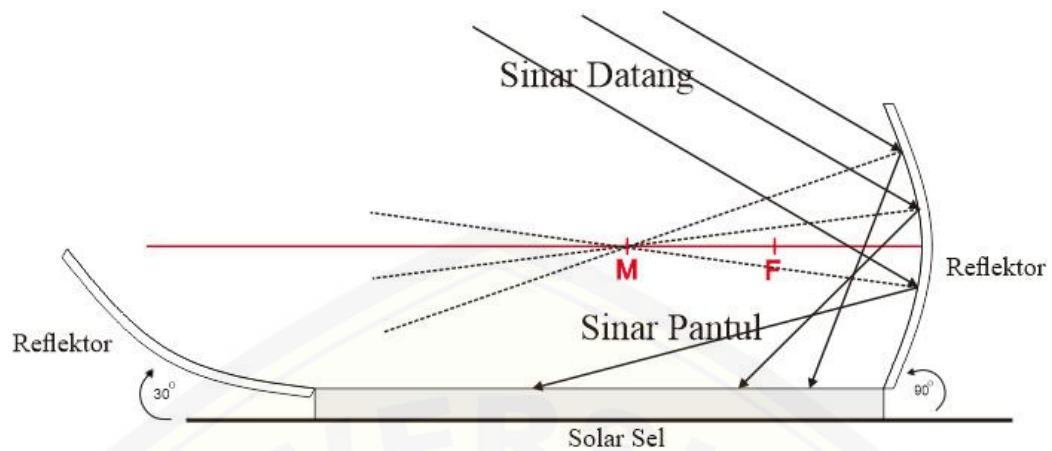
- d. Lalu menambahkan dekstrosa ke dalam cairan tersebut, kemudian menuangkan pada kaca dan meratakan cairan sampai terbentuk menjadi cermin.
- e. Dan membilas kaca yang sudah terbentuk menjadi cermin sampai bersih.



Gambar 3.6 Desain Gerak Reflektor Barat Dan Timur Pada Pagi Hari



Gambar 3.7 Desain Gerak Reflektor Barat Dan Timur Pada Siang Hari



Gambar 3.8 Desain Gerak Reflektor Barat Dan Timur Pada Sore Hari

Gambar 3.6 dan Gambar 3.8 merupakan desain gerak *reflektor* sisi barat dan timur pada kondisi pagi dan sore hari. Sedangkan Gambar 3.6 merupakan desain gerak *reflektor* sisi barat dan timur pada kondisi siang hari. Dimana desain tersebut dibuat berdasarkan hukum pemantulan cahaya pada cermin cekung dengan ukuran desain sama dengan ukuran yang sebenarnya. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui radiasi yang dipantulkan cermin cekung pada alat yang akan dibuat untuk penelitian ini, sehingga alat yang digunakan dapat bekerja secara maksimal.

3.6 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, dilakukan metode penelitian dengan menguji *photovoltaic module* dengan melakukan dua perlakuan yaitu perlakuan yang pertama dengan memberikan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung yang bergerak dari timur ke barat dengan mempertimbangkan nilai daya yang dihasilkan pada setiap sudut *scanning reflektor*. Pengujian ini dilakukan dengan memanfaatkan *datalogger* untuk membantu pencatatan seluruh nilai pengukuran I_{sc} dan V_{oc} kedalam sebuah *microSD*. Perlakuan yang kedua yaitu dengan menguji *output* panel surya menggunakan *reflektor* cermin datar secara manual menggunakan digital multimeter. Pengujian ini dilakukan dengan mengganti cermin cekung menjadi cermin datar setiap 30 menit sekali pada saat proses

scanning reflektor cermin cekung selesai. Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data penelitian ini sebagai berikut:

- a. Perancangan alat, pemasangan cermin cekung sebagai *reflektor* pada keempat sisi modul panel surya dengan cermin sisi barat dan timur digerakkan dengan mempertimbangkan energi listrik penggerak.
- b. Melakukan peletakan posisi panel surya dengan mempertimbangkan arah timur dan barat dengan menggunakan kompas.
- c. Melakukan pencatatan data radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dengan menggunakan alat ukur *solarimeter*.
- d. Proses pencatatan nilai Voc dan Isc panel surya dengan perlakuan *reflektor* cermin cekung secara otomatis dan disimpan pada memori yang tertanam pada alat.
- e. Proses pencatatan nilai Voc dan Isc panel surya dengan perlakuan *reflektor* cermin datar secara manual menggunakan digital multimeter.
- f. Melakukan pengukuran suhu pada permukaan panel surya setiap 30 menit sekali dengan menggunakan termometer.
- g. Pengukuran V_{OC} panel surya dengan perlakuan *reflektor* cermin cekung dilakukan dengan cara menggunakan *relay* bantu untuk memutus tegangan dari beban setelah melakukan proses *scanning* dan kemudian dibaca oleh sensor tegangan.
- h. Pengukuran Isc panel surya dengan perlakuan *reflektor* cermin cekung dilakukan dengan cara menggunakan *relay* bantu untuk menyambungkan sisi positif dan negatif *output* keluaran panel surya dan kemudian dibaca oleh sensor arus.
- i. Perhitungan daya keluaran, daya masukan dan efisiensi daya listrik yang dihasilkan.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem *Scanning Reflektor* Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP” dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Pada teknologi *scanning reflektor* cermin cekung, pergerakan *reflektor* menyesuaikan titik optimum nilai daya dan intensitas cahaya matahari yang didapat selama proses *scanning*.
2. Penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung pada panel surya menyebabkan adanya peningkatan arus dan daya dibandingkan dengan Penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin datar dengan rata – rata sebesar 0,234 A dan 1,113 watt, dengan nilai tegangan yang dihasilkan lebih cenderung stabil atau sama.
3. Nilai efisiensi panel surya yang menggunakan teknologi *scanning reflektor* cermin cekung lebih baik dibandingkan dengan teknologi *scanning reflektor* cermin datar, dengan nilai rata – rata selisih efisiensi sebesar 2,558%.

3.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang bertujuan untuk meningkatkan daya keluaran dan efisiensi panel surya yang lebih baik lagi. Selain itu, untuk data pembanding sebaiknya menggunakan panel surya yang lain dengan spesifikasi yang sama untuk menghindari nilai error persen tegangan dan arus yang dihasilkan. Menggunakan dc-dc converter untuk mengoptimalakan nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

Amalia Dan Satwiko S. 2012. Optimalisasi Output Modul Surya Polikristal Silikon Dengan Cermin Datar Sebagai Reflektor Pada Sudut 60° . Universitas Negeri Jakarta.

Hamdani ,Dadan. Subagiada, Kadek. dan Subagiyo, Lambang. 2011. Analisis Kinerja Solar *Photovoltaic System* (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan *Eksergi*. Program Studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda.

<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> (Diakses pada 23 Mei 2017)

<http://www.bukupedia.net/2016/01/sinar-sinar-istimewa-dan-sifat-sifat-bayangan-pada-cermin-cekung.html> (Diakses pada 3 Juni 2017)

Karina, A.Satwiko, S. 2012. Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. Universitas Negeri Jakarta.

Mintorogo, Danny Santoso. 2000. Strategi Aplikasi Sel Surya (*Photovoltaic Cells*) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial. Jurusan Teknik Arsitektur: Universitas Kristen Petra.

Mulyono, Dwi. 2003. Pengaruh penambahan reflektor Terhadap karakteristik arus-tegangan dan efisiensi sel surya. Jurusan Teknik Mesin :Fakultas Teknik universitas Sebelas Maret Surakarta

- Prabowo, Yulyanto A. 2013. Perancangan dan Simulasi Sistem *Tracking* Panel Surya Dua Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Kendali Logika *Fuzzy*. Jurusan Teknik Elektro : Universitas Diponegoro Semarang.
- Satwiko, S. 2012. “Uji Karakteristik Sel Surya Pada Sistem 24 Volt DC sebagai *Catudaya* pada Sistem Pembangkit Tenaga *Hybrid*”. Jakarta: FMIPA UNJ.
- Setiaji, Ahmad. 2016. Optimisasi Panel Surya Dengan Solar Charge Kontroler Dan Data Logger Berbasis Arduino. Jurusan Teknik Elektro : Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- Setiawan, Arif. 2015. Analisis Penggunaan Cermin Cekung, Cermin Datar, dan Kombinasi Cermin Cekung-Datar Untuk Meningkatkan Daya Keluaran pada Sel Surya. Jurusan Teknik Elektro : Universitas Diponegoro Semarang.
- Utomo, Hery Setyo. 2016. Optimalisasi Daya dan Energi Listrik pada Panel Surya dengan Teknologi *Scanning* Reflektor Cermin Datar. Jember: FTEKNIK Universitas Jember.
- Weller, Bernhard. dkk. 2008. *Planning And Installing Photovoltaic System*. Earthscan: London.

LAMPIRAN

A. Listing Program Arduino UNO R3

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DS3231.h>
DS3231 rtc(SDA, SCL);
#include <BH1750FVI.h>

BH1750FVI LightSensor;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

Time t;

const int jmlIndex = 100;
int index = 0;
int kode, menit;

double jmlAdcArus, ARUS;
double TEGANGAN;;

uint16_t lux;
double rad;

int sudut, sudutMax;
double p, pMax;
```

```
String hari,jam,tanggal;
String textKirim;

const int Step = 5, Dir = 6;
void setup() {
  pinMode(A3,OUTPUT);//pemutus ke rangkaian ---
  pinMode(2,OUTPUT);//tukang short
  digitalWrite(A3,LOW);digitalWrite(2,HIGH);
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  rtc.begin();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" BISMILLAH... ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" PURWADIHARJA ");
  Serial.begin(9600);

  pinMode(Step,OUTPUT);pinMode(Dir,OUTPUT);
  LightSensor.begin();
  LightSensor.SetAddress(Device_Address_L);
  LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);

  Serial.print("Initializing SD card...");
  if (!SD.begin(4)) {Serial.println("initialization failed!");}
  Serial.println("initialization done.");

  //delay(1000);
  //aturWaktu();
```

```
}  
  
void loop() {  
  ambilWaktu();  
  tampilLCDJam();  
  t=rtc.getTime();  
  menitot = t.min;  
  if(menitot%30==0){  
    if(kode == 0){  
      scanning();  
      kode = 1;  
    }  
  }  
  else{  
    kode = 0;  
  }  
  //  
  //bacaTegangan();  
  //bacaArus();  
  //bacaCahaya();  
  //bacaSudut();  
  //tampilLCDNormal();  
  
  //terimaSD(textKirim);  
  //delay(10000);  
  
  delay(100);  
}
```

```
void bacaArus(){
    jmlAdcArus = 0;
    for(int d = 0; d < jmlIndex; d++){
        jmlAdcArus += analogRead(A0);
        delay(1);
    }
    ARUS = jmlAdcArus/jmlIndex;
    ARUS = (0.0361*ARUS)-18.394;
    ARUS = abs(ARUS);
    Serial.println(String(ARUS));
}

void bacaCahaya(){
    lux = LightSensor.GetLightIntensity();
    rad = lux*0.0079;
    Serial.println(String(lux)+" "+String(rad));
}

void bacaSudut(){
    int adc = analogRead(A2);
    sudut = map(adc,150,370,90,30);
    int sudut2 = 120-sudut;
    //Serial.println(String(adc)+",""+String(sudut)+",""+String(sudut2));
    Serial.println(sudut);
}

void bacaTegangan(){
    TEGANGAN = analogRead(A1);
```

```
//Serial.println(String(adcTeg[index])+","+String(TEGANGAN));

TEGANGAN = (0.023*TEGANGAN)-0.0202;
TEGANGAN = abs(TEGANGAN);
Serial.println(TEGANGAN);
}

void ambilWaktu(){
//hari = rtc.getDOWStr();
jam = rtc.getTimeStr();
tanggal = rtc.getDateStr();
Serial.println(String(tanggal)+" --- "+String(jam));
}

void aturWaktu(){
//rtc.setDOW(TUESDAY);
rtc.setTime(21, 24, 0);
rtc.setDate(20, 2, 2018);
}

void tampilLCDNormal(){
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("[ D ] [ V ] [ A ]");
lcd.setCursor(0,1); lcd.print(sudut,1);
lcd.setCursor(6,1); lcd.print(TEGANGAN,1);
lcd.setCursor(11,1);lcd.print(ARUS,1);
}

void tampilLCDJam(){
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("TGL : ");
lcd.setCursor(6,0);lcd.print(tanggal);
lcd.setCursor(0,1);lcd.print("JAM : ");
```



```
lcd.setCursor(8,1);lcd.print(jam);
}
void scanning(){
  digitalWrite(2,HIGH); digitalWrite(A3,HIGH);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Scanning...");
  ambilWaktu();

  textKirim = " ===== " + String(tanggal) + " --- " + String(jam) + "
===== ";
  kirimSD(textKirim);
  Serial.println(textKirim);

  //=====KEMBALI KE POSISI
  30=====
  digitalWrite(Dir,HIGH);
  while(1){
    bacaSudut();
    Serial.println("Kembali " + String(sudut));
    if(sudut<=30){
      break;
    }
    digitalWrite(Step,HIGH);delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(Step,LOW);
  }
  //=====SCANNING=====
  digitalWrite(Dir,LOW);p=0;pMax=0;
```

```
for(int s = 30; s <= 90; s+=5){
  while(1){
    bacaSudut();
    Serial.println("Scanning " + String(sudut)+" "+String(s)+"
"+String(sudutMax));
    if(sudut>=s){
      bacaArus();
      bacaTegangan();
      bacaCahaya();
      p=ARUS*TEGANGAN;

      jam = rtc.getTimeStr();
      textKirim = "[" + String(jam) + "]" + String(sudut) + "`" + String(ARUS) +
" A " +
          String(TEGANGAN) + " V " + String(p,5) + " W " + String(lux) + "
Lux ";
      kirimSD(textKirim);
      Serial.println(textKirim);

      if(p>pMax){
        sudutMax=sudut;
        pMax = p;
      }
      break;
    }

    digitalWrite(Step,HIGH);delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(Step,LOW);
```

```
    }  
  }  
  
  //=====POSITIONING KE SUDUT  
  PAS=====  
  //sudutMax=50;  
  
  digitalWrite(Dir,HIGH);  
  for(int s = 90; s>=sudutMax && s>= 30 ;s-=5){  
    while(1){  
      bacaSudut();  
      Serial.println("POSITIONING " + String(sudut)+" "+String(s)+"  
"+String(sudutMax));  
      if(sudut<=s){  
        break;  
      }  
      digitalWrite(Step,HIGH);delayMicroseconds(100);  
      digitalWrite(Step,LOW);  
    }  
  }  
  
  digitalWrite(A3,LOW);  
  delay(100);  
  bacaTegangan();  
  delay(100);  
  
  digitalWrite(2,LOW);  
  delay(100);
```

```
    bacaArus();
    delay(100);
    digitalWrite(2,HIGH);digitalWrite(A3,LOW);

    jam = rtc.getTimeStr();
    textKirim = "[" + String(jam) + "]" + String(sudut) + "` " + String(ARUS) + "A
" +
        String(TEGANGAN) + "V ";
    kirimSD(textKirim);
    // Serial.println(textKirim);
    //
    textKirim = "
=====
==== ";
    kirimSD(textKirim);
    // Serial.println(textKirim);

}

void kirimSD(String data){
    File myFile = SD.open("file22.txt", FILE_WRITE);

    if (myFile) {
        //Serial.print("Writing to ");
        myFile.println(data);
        myFile.close();
        //Serial.println("done.");
    }
    else {
```

```
    Serial.println("error opening SD");
  }
}
void terimaSD(String data){
  File myFile = SD.open("file22.txt");
  if (myFile) {
    while (myFile.available()) {
      char kar;
      kar = (myFile.read());
      data+=kar;
      Serial.write(kar);
    }
    myFile.close();
  }
  else {
    Serial.println("error opening SD");
  }
}
```

B. Data Scanning Reflektor Cermin Cekung

Tabel B.1 Data Scanning Reflektor Pukul 07.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	3.3804	9859
35	3.5682	9951
41	3.752	9955
46	3.3768	9922
50	3.3642	9870
55	3.4979	9609
60	3.3138	9571
66	3.1297	9570
70	3.4504	9457
75	3.4504	9470
80	3.0804	9443
85	2.872	9397
90	3.0481	9391

Tabel B.2 Data Scanning Reflektor Pukul 08.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	4.5144	13799
35	3.9501	13709
41	4.3401	13594
45	3.774	13411
51	3.9501	13408
56	3.5112	13333
60	3.1297	13190
67	3.3102	13119
70	4.0458	13126
77	3.294	13024
80	3.656	12964
86	3.4542	12874
90	3.0906	12872

Tabel B.3 Data Scanning *Reflektor* Pukul 08.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
32	4.3999	52553
35	5.1624	53561
40	4.9764	53394
45	4.785	52714
50	4.78	51680
55	4.9686	50508
61	5.1597	50215
65	5.1624	50114
72	4.0068	49582
76	4.3884	48897
80	4.9556	48298
85	4.7575	47874
90	4.7525	47449

Tabel B.4 Data Scanning *Reflektor* Pukul 09.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
31	4.7875	111383
36	5.1705	111550
40	4.584	110542
45	4.77	110703
50	5.1003	109669
55	4.875	108497
61	4.4712	108204
65	4.476	108103
70	4.476	107571
76	4.6275	106886
81	4.4925	106287
85	4.4675	105863
90	4.6332	105438

Tabel B.5 Data Scanning *Reflektor* Pukul 09.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	4.6825	114692
35	4.4952	116406
41	5.2836	116573
46	5.0868	115565
50	4.7175	115726
55	4.9192	113520
60	4.9244	113227
65	4.735	113126
71	4.74	112594
76	4.5408	111909
80	4.735	111310
85	5.1084	110886
90	4.3516	110461

Tabel B.6 Data Scanning *Reflektor* Pukul 10.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	4.64	124548
34	4.2688	124559
40	5.0112	124640
44	5.3882	124644
50	5.0382	124611
56	4.8698	124298
60	4.324	124260
65	5.076	124232
70	5.2556	124146
76	5.0625	124159
80	5.0571	124132
85	4.862	124086
90	4.8516	124080

Tabel B.7 Data Scanning *Reflektor* Pukul 10.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
31	5.2024	126961
35	4.8308	127254
40	4.8308	129460
45	5.2164	129299
50	5.553	130307
55	5.3679	130140
62	5.0166	128426
66	5.1968	126860
70	5.3824	126328
75	4.8204	125643
81	5.0031	125044
85	4.8074	124620
90	3.694	124195

Tabel B.8 Data Scanning *Reflektor* Pukul 11.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
31	4.1584	129136
36	4.1653	129237
40	4.7216	129530
45	4.7398	130702
51	4.9221	131736
55	5.2809	132583
60	4.9086	132416
65	5.0792	131575
70	5.0988	128604
75	5.1044	127919
81	4.9167	127320
85	5.0904	126896
90	5.0876	126471

Tabel B.9 Data Scanning *Reflektor* Pukul 11.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	5.4027	168447
35	5.2248	168485
40	5.2136	167798
45	5.3998	167827
50	5.222	167746
56	5.4085	168735
61	5.577	168831
65	5.574	168446
70	5.3882	168333
75	5.1912	167346
81	5.2108	168319
86	5.208	167273
90	5.0355	167267

Tabel B.10 Data Scanning *Reflektor* Pukul 12.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	5.748	196500
34	5.745	196490
40	6.1184	196815
45	5.9179	196899
49	6.4226	197176
55	6.0704	197077
60	6.4532	197277
65	5.8838	196467
70	5.8993	194876
76	6.0896	194485
81	6.1024	194331
85	5.9241	195488
90	5.733	195127

Tabel B.11 Data Scanning *Reflektor* Pukul 12.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
31	5.5332	182266
36	5.8776	182256
40	5.697	182843
44	5.8931	182233
50	5.3508	182942
55	5.3396	182665
60	5.8962	182581
66	6.0608	183043
71	5.694	180251
75	5.8993	180642
80	5.9117	180097
85	5.5129	181254
90	5.5071	180893

Tabel B.12 Data Scanning *Reflektor* Pukul 13.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	5.1003	139147
36	5.0976	139679
40	5.4404	139780
45	5.2556	140073
51	5.452	141245
56	5.264	142279
61	5.4607	142118
65	5.2752	142959
70	5.4636	143126
75	5.2892	138462
80	5.2836	137863
86	5.4607	137439
90	5.2724	137014

Tabel B.13 Data Scanning *Reflektor* Pukul 13.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	4.8575	107524
35	4.855	108209
41	5.0388	108741
45	4.6584	108842
50	4.8525	110307
56	4.885	109135
60	5.0492	111180
65	4.86	111341
70	4.6632	112021
75	5.0518	112188
81	4.8575	109446
85	5.0414	109157
90	4.85	108856

Tabel B.14 Data Scanning *Reflektor* Pukul 14.00 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
31	4.6536	71939
35	4.6464	72538
40	4.84	73223
46	5.044	73856
51	4.656	73755
55	4.845	74149
60	4.4666	75321
65	4.4666	76194
70	4.6584	76355
75	4.8525	77202
79	5.0466	77305
86	4.4597	75386
90	4.462	75231

Tabel B.15 Data Scanning *Reflektor* Pukul 14.30 WIB

Sudut	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)
30	3.4504	39697
35	5.0792	39851
40	4.9113	40242
46	3.8241	40493
50	4.3752	40854
55	4.7476	41856
60	4.0172	42443
65	4.565	42542
71	4.0018	42265
75	5.0988	42181
80	4.5475	41833
86	5.1044	42643
90	4.5575	41866

C. Dokumentasi



Gambar C.1 Pembuatan Reflektor Cermin Datar



Gambar C.2 Pembuatan Reflektor Cermin Cekung



Gambar C.3 Pengujian Alat Menggunakan Reflektor Cermin Cekung



Gambar C.4 Pengujian Alat Menggunakan Reflektor Cermin Datar



Gambar C.5 Persiapan Pengujian Alat