



**OPTIMALISASI NILAI DAYA DAN ENERGI LISTRIK PADA
PANEL SURYA POLIKRISTAL DENGAN TEKNOLOGI
SCANNING REFLEKTOR CERMIN DATAR**

SKRIPSI

Oleh

**HERY SETYO UTOMO
NIM 121910201087**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**OPTIMALISASI NILAI DAYA DAN ENERGI LISTRIK PADA
PANEL SURYA POLIKRISTAL DENGAN TEKNOLOGI
SCANNING REFLEKTOR CERMIN DATAR**

SKRIPSI

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

Oleh

**HERY SETYO UTOMO
NIM 121910201087**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Puji syukur terpanjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan 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 Sasono dan Ibu Sulastri, yang selalu mendoakan, mengarahkan serta memberikan dukungan penuh dengan segala perhatiannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini dengan lancar.
2. Kakak-kakaku dan adikku yang tercinta, Endry Dewi N, Febry Kristianingsih dan Wahyudy Susilo yang telah memberikan semangat.
3. Kepada teman skripsiku Della Wahyu Margareta yang telah membantu kelancaran dalam segala kegiatan seminar skripsi.
4. Penghuni Lab KEL khususnya Mas Sugik dan Asisten 2013/2014 yang turut serta memberikan support dan bantuan lancarnya tugas skripsi ini.
5. Dolor-dolorku SATE-UJ yang telah memberikan dukungan dan doanya.
6. Sahabat-sahabatku Guntur Saputra, Moh. Agus dan Sofiyuddin yang telah memberikan semangat, pencerahan dan perhatian dalam perjuangan saya semasa kuliah.
7. Almamater tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

Tanamkan sifat pedulimu semuda mungkin, kelak kau akan tau betapa
berharganya sifat kepedulian di dunia kerja

(Mas Sugik)

Belajar adalah sikap berani menantang segala ketidakmungkinan bahwa ilmu yang
tak dikuasai akan menjelma di dalam diri manusia menjadi sebuah ketakutan,
belajar dengan keras hanya bisa dilakukan oleh seseorang yang bukan penakut.

(Anwar Fuadi)

Beri dirimu sebuah keyakinan, sehingga dirimu bisa merubah dunia. Karena
keyakinanmu sangat berperan penting dalam setiap langkahmu.

(Hery Setyo)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hery Setyo Utomo

NIM : 121910201087

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "Optimalisasi Nilai Daya dan Energi Listrik Pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi *Scanning Reflektor Cermin Datar* " adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan subtansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, 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 manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 Mei 2016

Yang menyatakan

(Hery Setyo Utomo)

NIM 121910201087

SKRIPSI

**OPTIMALISASI NILAI DAYA DAN ENERGI LISTRIK PADA
PANEL SURYA POLIKRISTAL DENGAN TEKNOLOGI
SCANNING REFLEKTOR CERMIN DATAR**

oleh :
Hery Setyo Utomo
NIM 121910201087

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto., S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul " Optimalisasi Nilai Daya dan Energi Listrik Pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi *Scanning Reflektor* Cermin Datar " telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 25 Mei 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199702 1 001

Dr. Bambang Sri Kaloki, S.T.,M.T.
NIP 19710402 200312 1 001

Penguji Utama

Penguji Anggota

RB. Moch. Gozali, ST., MT.
NIP 19690608 199903 1 002

Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT.
NIP 19800610 200501 1 003

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 19661215 1999503 2 001

Optimalisasi Nilai Daya dan Energi Listrik Pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi Scanning Reflektor Cermin Datar

Hery Setyo Utomo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Energi surya merupakan salah satu energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik, yaitu panel surya (photovoltaic solar). Ada beberapa jenis sel surya masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam penelitian ini dirancang panel surya dengan cermin datar teknologi reflektor scanning dengan empat reflektor pada empat sisi. Teknologi *scanning reflektor* ini bekerja dengan mencari titik daya maksimum dalam kondisi tertentu dengan menggerakkan reflektor sisi timur dan barat. Proses scanning dilakukan setiap 30 menit sekali waktu pengujian pukul 07.30 WIB hingga 14.30 WIB. Dengan penambahan cermin teknologi reflektor pemindaian datar pada panel surya menyebabkan peningkatan arus dengan rata-rata - rata-rata 0,7533 ampere dan peningkatan nilai daya rata-rata 10,201 watt dibandingkan dengan tanpa menggunakan reflektor. Dengan melihat nilai efisiensi, panel surya yang menggunakan reflektor dengan teknologi *scanning reflektor* telah meningkatkan efisiensi dengan rata-rata 6,362%. Untuk besar selisih energi yang dihasilkan teknologi scanning reflektor dalam rentang waktu tujuh jam diperoleh nilai 191,012.62 joule dibandingkan tanpa reflektor.

Kata Kunci : *Panel surya, reflektor, scanning, photovoltaic*

Optimization of Electrical Power and Energy Values In polycrystalline solar panels with Scanning Technology Reflector Mirror Flat

Hery Setyo Utomo

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Solar energy is one of the energy that can be converted into electrical energy, namely solar panels (solar photovoltaic). There are several types of solar cells each have advantages and disadvantages. In this study designed a solar panel with a flat mirror reflector technology scanning with four reflectors on four sides. This reflector scanning technology works by looking for maximum power point under certain conditions by moving reflectors east and west sides. The scanning process is done every 30 minutes of test time at 07.30 am until 14.30 pm. With the addition of flat scanning mirror reflector technology on solar panels causing the current to increase by an average - an average of 0.7533 amperes and increase the value of the average power compared to 10.201 watts without using a reflector. By looking at the value of efficiency, solar panels using a reflector with reflector scanning technology has improved efficiency by an average of 6.362%. To a large difference in energy generated scanning technology reflector in a span of seven hours 191,012.62 joules compared to values obtained without a reflector.

Keywords : *Solar Panel, reflektor, scanning, photovoltaic*

RINGKASAN

Optimalisasi Nilai Daya dan Energi Listrik Pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi Scanning Reflektor Cermin Datar; Hery Setyo Utomo 121910201087; 2016; 92 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada perkembangan dunia, teknologi saat ini mendorong manusia untuk melakukan berbagai penemuan terkait dengan adanya sumber energi listrik. Pada saat ini energi listrik telah menjadi salah satu aspek kehidupan manusia yang sangat penting. Sekarang ini, sebagian besar sumber energi listrik dapat diperoleh melalui pengkonversian energi, yang berasal dari fosil, gas, dan minyak bumi. Namun dari pemanfaatan sumber energi tersebut ada beberapa kekurangan yang perlu kita pertimbangkan, yaitu habisnya sumber daya alam yang dimanfaatkan sebagai energi listrik.

Matahari merupakan salah satu dari beberapa energi yang jumlahnya tidak terbatas, bahkan peran matahari adalah sebagai energi yang dapat diperbarui yang artinya kesediananya di muka bumi ini sangat cukup melimpah, khususnya di wilayah Indonesia. Dalam pemanfaatannya sebagai energi listrik, energi matahari dikonversikan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan panel surya (*solar photovoltaic*).

Pada penelitian ini membahas mengenai penggunaan teknologi scanning cermin datar panel surya polikristalin. Dengan adanya penelitian ini diharapkan adanya sebuah keluaran sebuah alat yang dapat digunakan untuk penopang kebutuhan listrik manusia. Pada penelitian ini memanfaatkan nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya, yang bergantung dengan sudut yang dibentuk reflektor cermin pada suatu waktu tertentu. Penggerak yang digunakan pada alat ini adalah motor stepper yang geraknya dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler arduino mega2560. Pada penelitian mempunyai beberapa tujuan yakni pertama mengetahui hubungan antara sudut *reflektor*, arus dan sudut matahari dengan menggunakan teknologi *scanning reflektor* cermin datar, kedua mengoptimalkan

nilai daya , dengan mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan dari penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin datar dan yang ketiga mengetahui pengaruh nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan akibat teknologi *scanning reflektor* cermin datar.

Nilai persamaan sudut optimal pada 28 Januari 2016 diperoleh pendekatan persamaan $y = -0,4162x + 53,29$, dengan nilai persamaan ditentukan oleh kondisi pada saat itu, persamaan ini tidak tetap karena dipengaruhi oleh kondisi radiasi matahari saat itu. Sudut yang dibentuk oleh *reflektor* panel surya dengan teknologi *scanning reflektor* tidak selalu bernilai linier terhadap sudut matahari. Sedangkan sudut reflektor yang dibentuk oleh reflektor cermin datar menentukan nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya, karena semakin banyak radiasi matahari yang menimpa panel surya maka semakin besar nilai foton dan arus yang dibangkitkan. Dengan adanya penambahan teknologi *scanning reflector* cermin datar pada panel surya menyebabkan adanya peningkatan arus dan daya dibandingkan dengan tanpa *reflector* cermin datar dengan rata – rata sebesar 0,7533 A dan 10,20 watt. Pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin datar pada panel surya pada nilai tegangan kurang begitu besar dibandingkan dengan penggunaan tanpa *reflektor*, hal ini bisa dilihat pada nilai tegangan Voc pada pukul 14.30 sebesar 18,74 volt dan 18,69 volt. Perbandingan nilai *effisiensi* panel surya *scanning reflektor* dan panel surya sudut *reflektor* terhadap panel surya tanpa reflektor jauh lebih baik penggunaan panel surya dengan *reflektor*, dengan nilai rata – rata selisih efisiensi sebesar 6,362 %. Dengan menggunakan teknologi *scanning reflektor* nilai energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya lebih besar dibandingkan dengan tanpa reflektor, dengan selisih nilai energi listrik sebesar 191012,62 joule..

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Optimalisasi Nilai Daya dan Energi Listrik Pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi *Scanning Reflektor* Cermin Datar". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. R B.Moch. Gozali, ST., MT. selaku Dosen Penguji I, Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Sumardi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Moh. Agung Prawira Negara, ST., MT. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu skripsi secara administratif;
5. Ayahanda Sasono Wuryanto W dan ibunda Sulastri yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;
6. Kakak-kakak dan adiku tersayang Endry Dewi N, Febry K dan Wahyudy S.C yang telah memberikan motivasi dan semangat;
7. Keluarga Labolatorium Dasar Konversi Energi Listrik (KEL) Mas Sugik, Fajar, Tutut, Ibrahim, Rizki ,Chintya, Ratna dan Calon Asisten 2014 yang turut serta berperan dalam penulisan skripsi dan selalu menjadi teman berbagi cerita senang dan sedih;
8. Teman-teman seperjuang Moh. Agus, Achmmad Sofiyuddin, Tutut tryastutik dan Sujarwo atas pengalaman berharga yang kita lalui bersama dalam setiap pengerjaan skripsi;

9. Rekan-rekan kontrakan Indrawan, Hamzah, Aliando (Alvin), Rangga, Fikar, Ikhasan dan Aan yang merupakan keluarga kecil saya di kota perantauan penulis;
10. Sahabat terbaikku yang jauh di negeri orang Guntur Saputra yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam penulis melaksanakan penelitian skripsi;
11. Dolor-dolor seperjuangan Teknik Elektro 2012 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjuangan di bangku kuliah;
12. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 30 Maret 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Radiasi Surya	4
2.2 Intensitas Cahaya.....	5
2.3 Foton.....	5
2.4 Photovoltaic	6
2.4.1 Efek Photovoltaic	6
2.4.2 Sel Photovoltaic.....	7

2.5 Sel Surya (solar cell)	7
2.5.1 Mekanisme Kerja Energi	7
2.4.2 Jenis-jenis Sel Surya.....	11
2.6 Analisis Solar Photovoltaic System (SPS)	12
2.7 Karakteristik Panel Surya	14
2.7.1 Arus Hubung Singkat (Isc).....	14
2.7.2 Tegangan Hubung Terbuka (Voc).....	15
2.7.3 Pengaruh Irradiance Terhadap Panel Surya	16
2.7.4 Daya pada Panel Surya.....	17
2.7.5 Fill Factor	18
2.7.6 Efisiensi Panel Surya.....	19
2.7.7 Energi Listrik.....	19
2.8 Arduino Mega 2560	20
2.9 Motor Stepper	21
2.10 Bumi Terhadap Matahari	24
2.10.1 Konstanta Surya.....	24
2.10.2 Pengaruh Posisi Relatif Matahasri.....	25
2.10.3 Menentukan Sudut Datang Radiasi Matahari.....	27
2.10.4 Mentukan Radiasi Pemantulan dari Reflektor.....	28
2.11 Cermin Datar	30
BAB 3. METODE PENELITIAN	31
3.1 Konsep Pemikiran Penelitian	31
3.2 Desain Penelitian	33
3.2.1 Diagram Blok Sistem Pengujian.	33
3.2.2 Flowchat	34
3.3 Desain Alat	35
3.4 Metode Pengumpulan Data	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Sistem Gerak Reflektor Terhadap Gerak Matahari	43
4.2 Penyamaan Karakteristik Pembanding Panel Surya	46
4.3 Radiasi Masukan pada Penambahan Reflektor	49

4.3.1 Menentukan Sudut Datang Matahari.....	49
4.3.2 Analisis Hubungan Reflektor Terhadap Matahari ...	49
4.3.3 Radiasi yang Menimpa Panel Surya Bereflektor....	54
4.4 Hasil Pengambilan Data	56
4.4.1 Pengambilan Data per-30 menit	56
4.3.2 Analisis Data pengujian.....	59
4.5 Pengaruh Suhu Terhadap Perform Panel Surya	62
4.6 Analisis Efisiensi Daya Panel Surya	63
4.7 Pengaruh Kerja Panel Surya pada Hari Berawan	64
4.8 Hubungan Arus Terhadap Sudut Reflektor	67
4.9 Kelayakan Energi.....	67
BAB 5. PENUTUP.....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	76

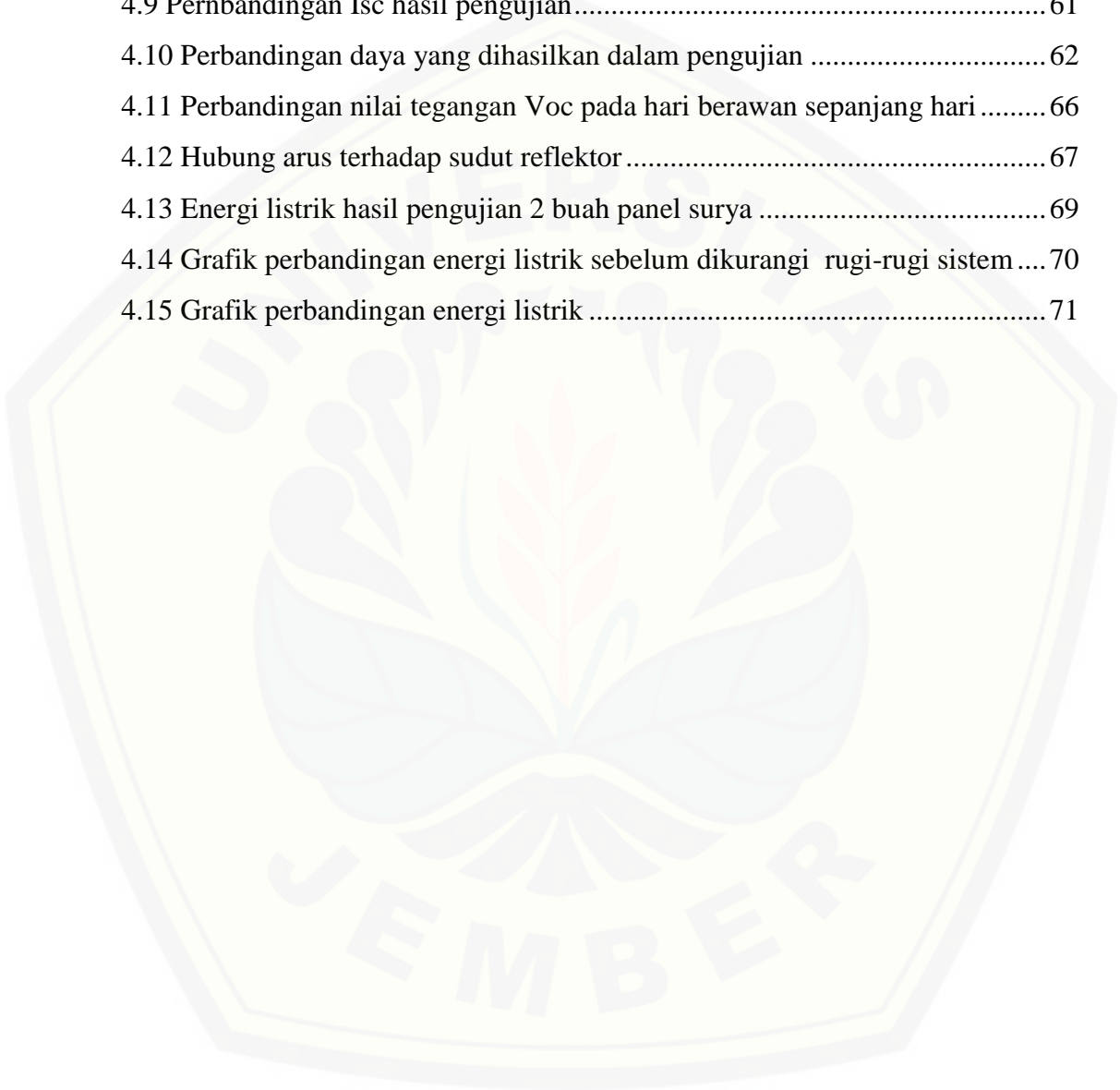
DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spesifikasi Arduino Mega2560.....	21
4.1 Hasil pengujian persamaan karakteristik	46
4.2 Data hasil pengujian sudut datang matahari yang diterima reflektor	52
4.3 Data sudut matahari dan sudut reflektor.....	53
4.4 Hasil perhitungan komponen radiasi masukan sistem	57
4.5 Pengukuran Voc,Isc dan analisis Pout dan η	58
4.6 Pengaruh nilai tegangan Voc terhadap perubahan suhu	63
4.7 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	64
4.8 Pengujian alat ketika keadaan hari berawan	65
4.9 Perbandingan sudut reflektor hari cerah dan hari berawan.....	66
4.10 Data daya rata-rata energi yang dilakukan selama 30 menit.....	68

DAFTAR GAMBAR

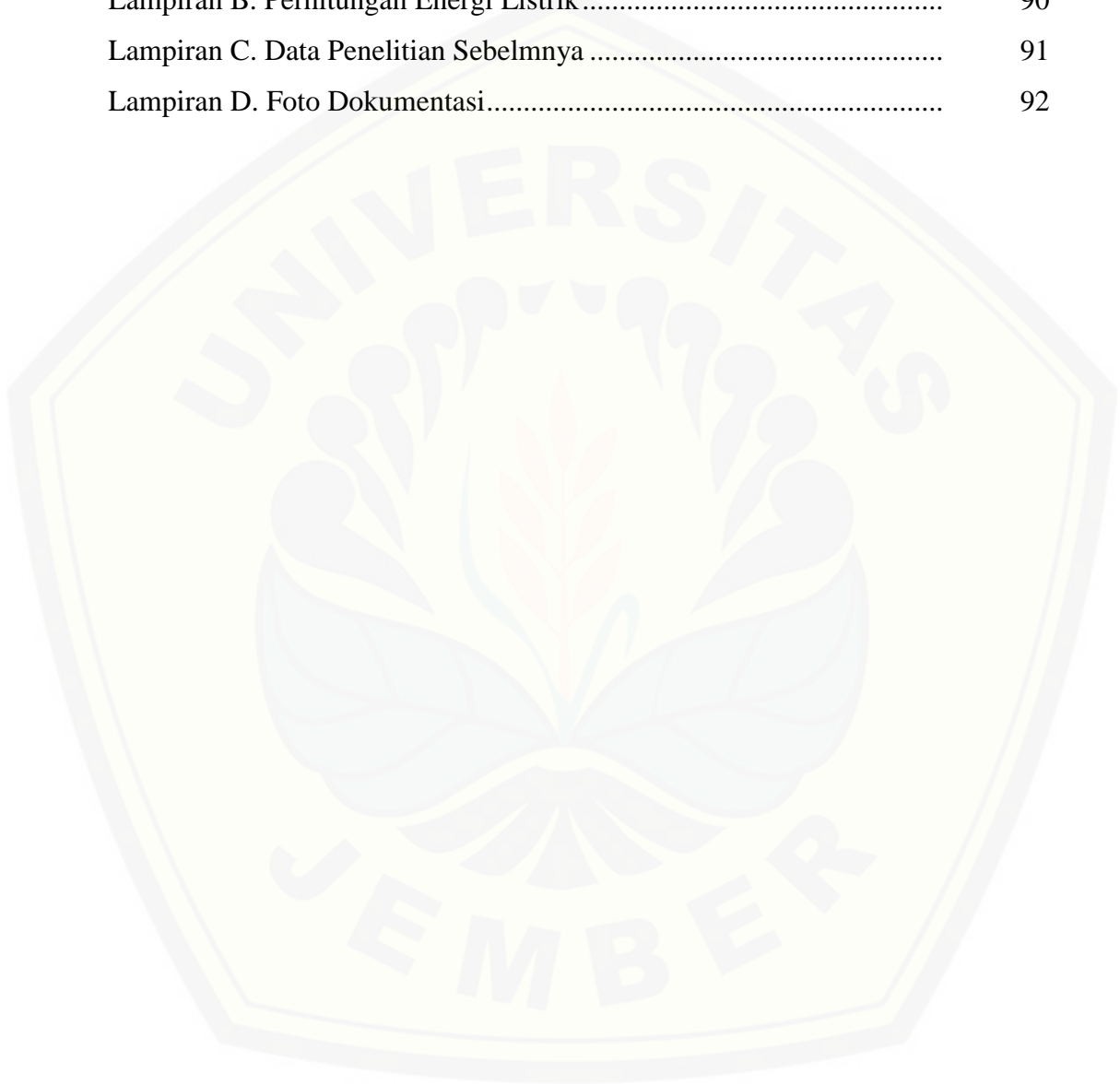
	Halaman
2.1 Kontruksi sel surya	7
2.2 Mekanisme terjadinya elektron bebas	8
2.3 Semikonduktor tipe-p dan tipe-n.....	9
2.4 Perbedaan band gap mempengaruhi energi diserap oleh sel surya	10
2.5 Model dioda tunggal ekivalen PV	12
2.6 Kurva I-V solar cell yang menunjukkan arus short circuit	15
2.7 Kurva I-V solar cell yang menunjukkan tegangan open circuit.....	16
2.8 Kurva V-I terhadap perubahan Irradiance	17
2.9 Arduino mega2560.....	21
2.10 Timing waktu setiap 15^0	24
2.11 Hubungan geometris bumi-matahari.....	25
2.12 Beberapa sudut penting dalam energi surya.....	26
2.13 Sudut pantul cermin	30
3.1 New tommorow solar panel	32
3.2 GH panel surya.....	32
3.3 Diagram blok penelitian.....	33
3.4 Bagan alur penelitian.....	34
3.5 Flowchat Program	35
3.6 Desain modul panel surya dan penempatan cermin datar	36
3.7 Desain gerak reflektor barat dan timur.....	36
3.8 Rangkaian sistem	38
3.9 Pengambilan arah reflektor dengan kompas	39
3.10 Pengambilan data radiasi matahari.....	39
3.11 Pengambilan data Intensitas Cahaya.....	40
4.1 Pemantulan radiasi matahari terhadap cermin reflektor 60^0	44
4.2 Pemantulan radiasi matahari pada pagi hari.....	45
4.3 Pemantulan radiasi matahari pada sore hari.....	45
4.4 Grafik perbandingan nilai tegangan open circuit (Voc).....	47

4.5 Perbandingan nilai arus short circuit setelah kalibrasi.....	48
4.6 Perbandingan nilai daya setelah kalibrasi	48
4.7 Hubungan sudut reflektor terhadap sudut matahari	54
4.8 Perbandingan nilai Voc hasil pengujian.....	60
4.9 Perbandingan Isc hasil pengujian.....	61
4.10 Perbandingan daya yang dihasilkan dalam pengujian	62
4.11 Perbandingan nilai tegangan Voc pada hari berawan sepanjang hari	66
4.12 Hubungan arus terhadap sudut reflektor	67
4.13 Energi listrik hasil pengujian 2 buah panel surya	69
4.14 Grafik perbandingan energi listrik sebelum dikurangi rugi-rugi sistem....	70
4.15 Grafik perbandingan energi listrik	71



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. List Program	76
Lampiran B. Perhitungan Energi Listrik.....	90
Lampiran C. Data Penelitian Sebelumnya	91
Lampiran D. Foto Dokumentasi.....	92



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada perkembangan dunia, teknologi saat ini mendorong manusia untuk melakukan berbagai penemuan terkait dengan adanya sumber energi listrik. Pada saat ini energi listrik telah menjadi salah satu aspek kehidupan manusia yang sangat penting. Sekarang ini, sebagian besar sumber energi listrik dapat diperoleh melalui pengkonversian energi, yang berasal dari fosil, gas, dan minyak bumi. Namun dari pemanfaatan sumber energi tersebut ada beberapa kekurangan yang perlu kita pertimbangkan, yaitu habisnya sumber daya alam yang dimanfaatkan sebagai energi listrik.

Matahari merupakan salah satu dari beberapa energi yang jumlahnya tidak terbatas, bahkan peran matahari adalah sebagai energi yang dapat diperbarui yang artinya kesedianya di muka bumi ini sangat cukup melimpah, khususnya di wilayah Indonesia. Dalam pemanfaatannya sebagai energi listrik, energi matahari dikonversikan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan panel surya (*solar photovoltaic*).

Sekarang ini pengembangan energi listrik tenaga surya atau panel surya, yang seharusnya merupakan sumber energi yang dapat diperbarui dan juga bebas polusi, realitanya sangat kurang bisa diandalkan oleh masyarakat. Untuk itu perlu adanya pengembangan teknologi yang menunjang kinerja panel surya. Dari penelitian sebelumnya yakni penggunaan *reflektor* cermin datar sebagai penjejak matahari (Priahandoko, 2014), telah memberikan inovasi baru, sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik jika kita bandingkan dengan panel surya tanpa *reflektor* penjejak matahari, terlihat dari nilai efisiensi yang di hasilkan. Namun penggunaan *reflektor* cermin datar pada penelitian tersebut mempunyai beberapa kekurangan yaitu penggunaan panel surya harus menyesuaikan waktu terbit dan terbenamnya matahari sehingga kurang optimalnya nilai efisiensi dalam

pemanfaatan energi matahari saat kondisi berawan dan kurang di jelaskan lebih mendalam mengenai kelayakan energi listrik pada penelitian sebelumnya. Untuk itu pada penelitian kali ini, penulis ingin memberikan inovasi baru pada pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi listrik, dengan cara pemberian kontrol *reflektor* sebagai alat *scanning reflektor* untuk mendeteksi titik daya maksimum yang lebih akurat, sehingga diharapkan panel surya mampu memberikan nilai efisiensi yang maksimal serta mengetahui kelayakan energi akibat pemanfaatan cermin datar sebagai *reflektor*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara sudut *reflektor*, arus dan sudut matahari dengan menggunakan teknologi *scanning reflektor* cermin datar ?
2. Bagaimana mengoptimalkan nilai daya , dengan mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan dari penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin datar?
3. Bagaimana pengaruh nilai efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan akibat teknologi *scanning reflektor* cermin datar ?

1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Mendesain dan membangun panel surya polikristal dengan *scanning reflektor* cermin datar.
2. Mengetahui hubungan antara sudut *reflektor*, arus dan sudut matahari dengan menggunakan teknologi *scanning reflektor* cermin datar.
3. Mengetahui daya, tegangan dan arus yang dihasilkan akibat pengaruh penggunaan teknologi *scanning reflektor* cermin datar.
4. Mengetahui nilai kelayakan energi listrik dan nilai efisiensi panel surya akibat pengaruh teknologi *scanning reflektor* cermin datar.

1.4 Manfaat

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 sekripsi 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 *new tomorrow polycrystal 50 WP* dan *GH solar 50 WP* sebagai pembandingan.
3. Motor yang digunakan jenis motor *stepper*.
4. *Reflector* cermin datar dengan panjang dan lebar 60 cm x 30 cm.
5. Mekanik yang digunakan tidak dibahas secara mendalam.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Surya

Matahari merupakan jenis bintang yang letaknya terdekat dengan bumi dengan jarak rata-rata 149.680.000 kilometer (93.026.724 mil). Matahari merupakan suatu bintang yang memberikan kehidupan di bumi dengan segala bentuk energi yang diberikan.

Radiasi Matahari merupakan suatu pemancaran energi yang berasal dari hasil proses *thermonukli* cahaya matahari. Radiasi matahari dapat berupa sinar dan gelombang yang terdiri dari dua buah sinar yakni sinar pendek dan sinar bergelombang panjang. Berikut ini merupakan kategori sinar gelombang pendek yakni, sinar *x*, sinar *gamma* dan sinar *ultra violet*, sedangkan kategori sinar gelombang panjang yakni sinar *infra rad*.

Pada prinsipnya jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama adalah jarak matahari, semakin jauh dan dekat jarak bumi terhadap matahari maka akan menimbulkan variasi perubahan energi radiasi yang diterima. Kedua adalah Intensitas radiasi matahari yang dipengaruhi oleh besar kecilnya sudut datang matahari pada permukaan bumi. Jumlah intensitas matahari 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 ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus. Ketiga adalah panjang hari (*sun duration*) yakni jarak dan lamanya matahari dapat bersinar pada permukaan bumi, secara umum panjangnya hari dapat kita lihat dari lamanya antara matahari terbit hingga matahari terbenam. Keempat adalah pengaruh dari atmosfer, pada prinsipnya sinar datang dari matahari tidak sepenuhnya diterima oleh bumi, melainkan sebagian akan *diadsorbsi* oleh gas-gas, debu dan uap air, dipantulkan kembali, dipancarkan dan sisanya diteruskan ke permukaan bumi.

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.

2.3 Foton

Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya *foton* dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X. *Foton* tidak bermassa dan dalam ruang vakum *foton* selalu bergerak dengan kecepatan cahaya. *Foton* memiliki baik sifat gelombang maupun partikel (*dualisme* gelombang-partikel). Sebagai gelombang, satu *foton* tunggal tersebar diseluruh ruang dan menunjukkan fenomena gelombang seperti pembiasan oleh lensa dan *inferensi destruktif* ketika gelombang terpantulkan saling memusnahkan satu sama lain. Sebagai partikel, *foton* hanya dapat berinteraksi dengan materi dengan memindahkan energi. Energi *foton* tergantung pada frekuensi cahaya yang digunakan, dengan persamaan (Haryadi, 2007):

$$E = h \cdot \nu \quad (2.1)$$

Keterangan :

E adalah energi (Joule)

h adalah tetapan *Planck* = $6,63 \times 10^{-34} \text{ J/s}$

ν adalah frekuensi dari cahaya (Hz)

2.4 Photovoltaic

2.4.1 Efek Photovoltaic

Photovoltaic (PV) adalah cara atau suatu sistem untuk mentranfer atau mengkonversikan energi cahaya atau energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang menggunakan prinsip efek *Photovoltaic*. Efek *Photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh *Henri Becquerel* pada tahun 1839 yang berbunyi sebagai berikut, Efek *Photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya *voltase* listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat di-*expose* di bawah energi cahaya.

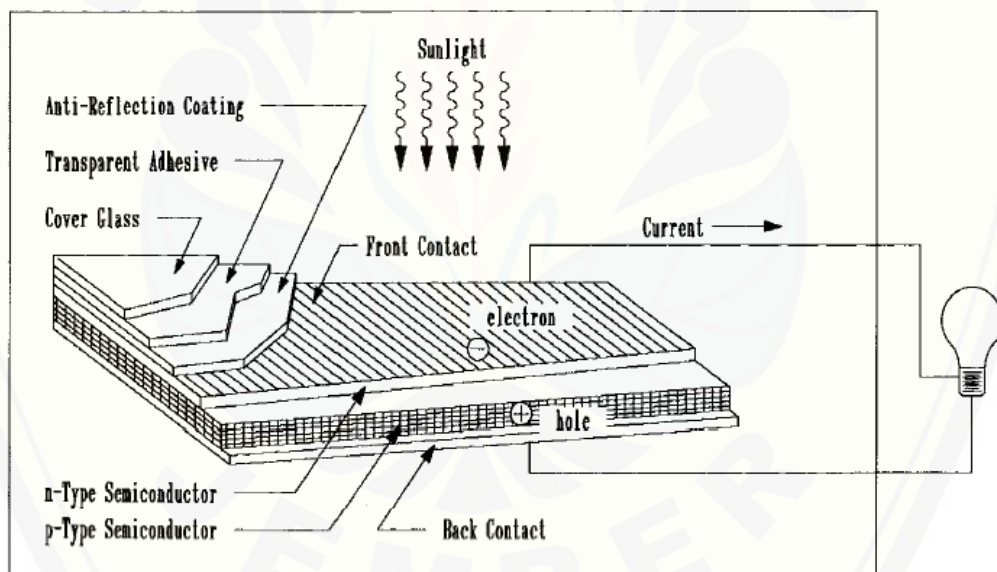
Radiasi cahaya terdiri dari biasan-biasan *foton* memiliki panjang gelombang dan spektrum cahaya yang berbeda-beda antara satu dengan yang lain yang dipengaruhi oleh tingkat energi yang dibangkitkan. Pada kondisi tertentu saat *foton* mengenai permukaan suatu sel PV, maka energi *foton* akan dibiaskan, diserap dan diteruskan menembus sel PV yang kemudian akan memicu timbulnya energi listrik.

Photovoltaic menggunakan proses konversi langsung dari cahaya atau (energi elektromagnetik) menjadi aliran listrik dengan menggunakan sel surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya selain dipengaruhi oleh intensitas surya juga oleh efisiensinya. Secara teoritis, efisiensi yang dapat dicapai oleh sel surya maksimal sekitar 30 – 40% tergantung pada tipe dan konstruksinya, namun umumnya hanya mencapai efisiensi antara 7 – 17%. Atas dasar efisiensi tersebut, pengendalian posisi dari panel PV (yang merupakan kumpulan dari modul sel PV) menjadi penting agar intensitas matahari dapat diserap secara optimal. Sistem yang diterapkan disebut sistem *tracking* matahari (*Sun Tracking System*). (Ashfahani, 2008).

Sistem *tracking* matahari terdiri dari sirkuit penangkap cahaya langsung (*directional light detecting circuit*), *amplifier circuit*, dan sebuah magnet permanen motor *step* DC untuk menyesuaikan arah dari modul PV terhadap arah tegak lurus cahaya matahari *Input* dari sistem adalah posisi cahaya matahari dan *outputnya* berupa arah dari modul PV tersebut dalam besaran radian. (Ashfahani, 2008)

2.4.2 Sel *Photovoltaic*

Sel *Photovoltaic* atau Sel PV merupakan suatu perangkat yang mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya sistem sel PV terdiri dari *pn junction* atau biasa kita kenal ikatan sisi positif dan ikatan sisi negatif yang sebelumnya merupakan hasil *doping* atom-atom semikonduktor. Terdapat beberapa istilah yang mempunyai arti yang sama sel *photovoltaic* yakni dikenal dengan *solar cell* atau sel surya. Dari dua istilah tersebut terdapat beberapa perbedaan dari segi cahaya yang diterima. Pada sel PV sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi sinar matahari. Berikut ini merupakan konstruksi dasar sel surya yang di tampilkan pada gambar 2.1. (Handini , 2008).



Gambar 2.1 Kontruksi sel surya (Sumber : Haryadi, 2007)

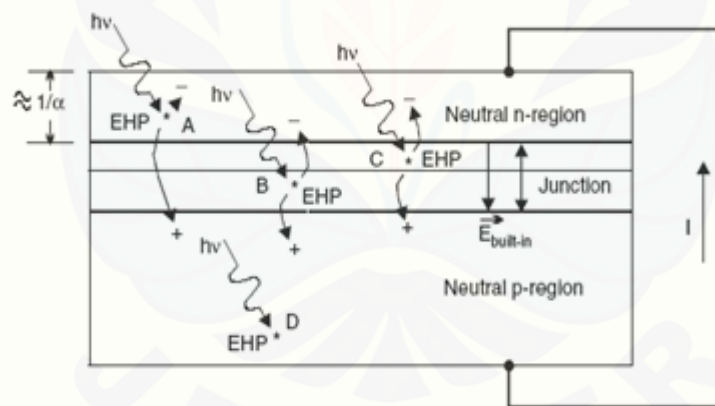
2.5 Sel Surya (*Solar cell*)

2.5.1 Mekanisme Konversi Energi

Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Konduktivitas elektron atau kemampuan *transfer* elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron

valensi dari suatu material. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah *energy*. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah kristal silicon. Ketika *foton* dari sumber energi cahaya menumbuk atau mengenai suatu elektron valensi dari semikonduktor, mengakibatkan timbulnya energi yang cukup besar yang mampu memisahkan elektron terlepas dari struktur atom yang tertumbuk. Elektron yang terlepas tersebut menjadi bebas bergerak di dalam bidang kristal dan elektron tersebut menjadi bermuatan negatif dan berada pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. (Handini , 2008).

Akibat hilangnya elektron yang telah mengalami perpindahan mengakibatkan terbentuknya daerah kekosongan pada struktur kristal yang sering kita sebut dengan “*hole*” (bermuatan positif). Skema terjadinya elektron bebas diilustrasikan seperti gambar 2.2. (Handini , 2008).



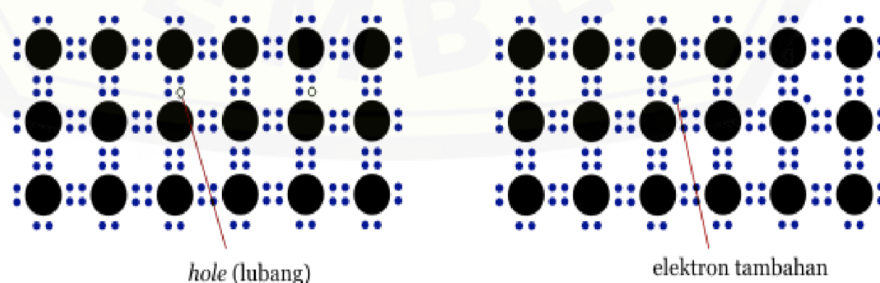
Gambar 2.2 Mekanisme terjadinya elektron bebas pada bahan semikonduktor
(Sumber : Modul Praktikum Dasar Konversi Energi UNEJ)

Pada ilustrasi di atas dapat dijelaskan bahwa daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai atom donor (donor elektron). Daerah ini lah yang sering kita sebut sebagai daerah *negatif type* (n-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole* yang mempunyai sifat positif akan bertindak sebagai penerima atau acceptor. Daerah ini yang sering kita sebut sebagai

daerah positive *type* (p-*type*). Dari kedua buah ikatan sisi negatif dan positif atau sering kita sebut *p-n junction* akan menghasilkan energi yang dapat menyebabkan elektron dan *hole* bergerak ke arah yang berlawanan. Dimana gerak elektron akan menjauhi sisi negatif dan gerak *hole* menjauhi sisi positif. Pada kondisi ini jika kedua sisi tersebut yang memiliki beda potensial yang berbeda di hubungkan dengan sebuah beban lampu maka akan tercipta sebuah arus listrik. (Handini , 2008).

a. Semikonduktor Tipe P dan Tipe N.

Ketika suatu kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan ke lima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya electron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah silikon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika kristal silikon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya electron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan munculnya *hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p. (Haryad, 2007).

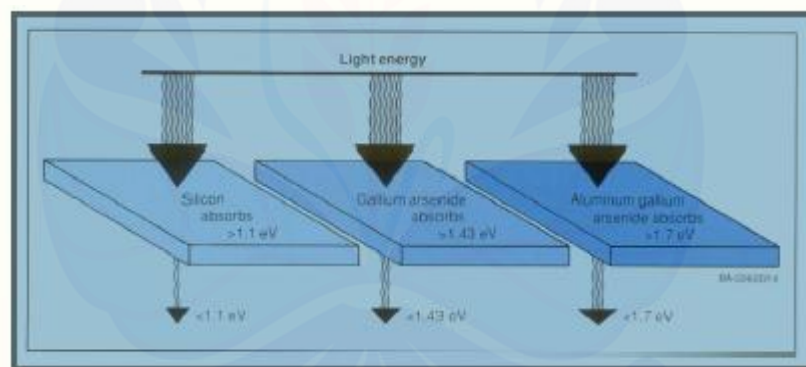


Gambar 2.3. Semikonduktor tipe-p /Kiri dan tipe-n /Kanan (Sumber : Haryadi, 2007)

b. Material semikonduktor

Pada dasarnya besar nilai *band gap* dari suatu semikonduktor sangat menentukan banyaknya spektrum cahaya yang di serap oleh sel PV. Elektron mampu tereksitasi jika nilai dari energi yang diterima mempunyai nilai yang lebih sama atau lebih besar dari *band gap*, pergerakan elektron bebas dari pita konduktif dan pergerakan *hole* dari pita valensi melewati *band gap* inilah yang menimbulkan energi listrik.

Energi yang lebih rendah akan terpantul atau menembus sel PV. Sedangkan energi yang lebih tinggi akan terserap dan sebagian menjadi energi panas. Dengan demikian material dengan *band gap* yang lebih rendah mampu mengeksplorasi spektrum cahaya yang lebih banyak, menghasilkan *transfer* elektron yang lebih banyak, sehingga menghasilkan arus yang lebih tinggi dengan tegangan yang rendah (Handini , 2008). Hal tersebut sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Perbedaan *band gap* mempengaruhi besarnya energi diserap oleh sel surya
(Sumber: Handini , 2008)

Namun, *band gap* juga mempengaruhi kuatnya medan listrik yang dihasilkan. Material dengan *band gap* yang lebih tinggi akan menghasilkan tegangan (*voltase*) listrik yang semakin tinggi pula memiliki arus yang rendah. Semikonduktor dengan *band gap* antara 1-1.8 eV terbukti efektif digunakan pada sel PV (Handini, 2008).

2.5.2 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 crystalline* 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.

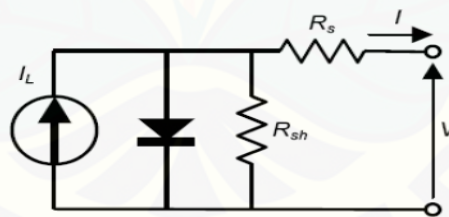
6. *Dye Sensitized*

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*).

2.6 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 (ID). 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 1 berikut:



Gambar 2.5 Model dioda tunggal untuk rangkaian ekivalen PV (Sumber: Hamdani, 2012)

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

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left[\frac{V + IR_s}{N_s n_1 V_t} \right] - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.2)$$

$$= I_L - I_0 \left[\exp \frac{V+IR_s}{mV_t} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.3)$$

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 :

$$V_t = \frac{kT_c}{q} \quad (2.4)$$

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 $0.1^{-10} \Omega m^2$.

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:

$$I_{SC} = I_{SC, ref} \frac{G}{G_{ref}} + \mu_{I,sc} (T_c - T_{c, ref}) \quad (2.5)$$

$$V_{OC} = V_{OC, ref} + mV_t \ln \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) + \mu_{V, oc} (T_c - T_{c, ref}) \quad (2.6)$$

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 :

$$\eta_{en} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{A \times T_s} \quad (2.7)$$

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).

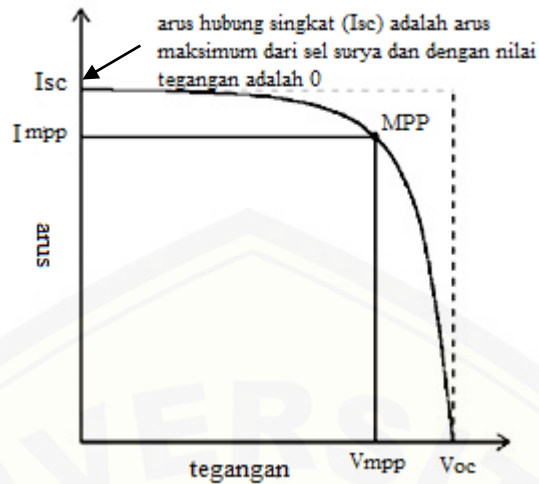
2.7 Panel Surya

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 (Ibrahim, et.al 2009).

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

I_{sc} (*Short Circuit*) 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 (Prihandoko, 2014).

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 (Prihandoko, 2014).

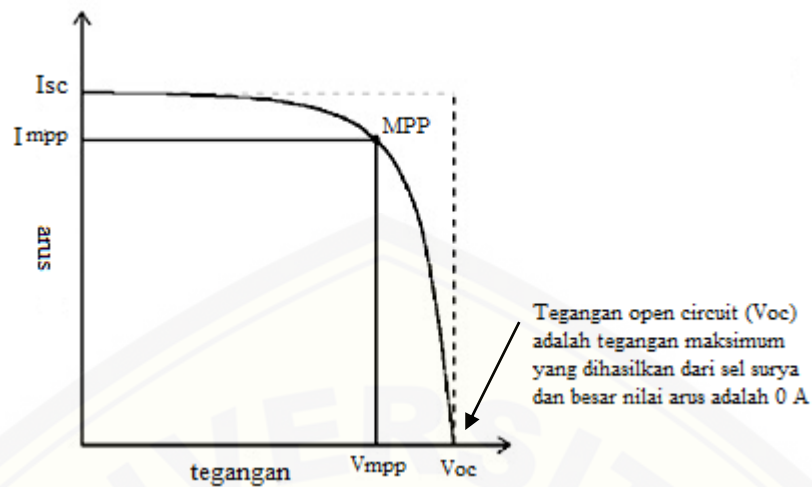


Gambar 2.6 Kurva I-V *solar cell* yang menunjukkan arus *short circuit*

2.7.2 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 karena 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 (Ibrahim, *et.al*, 2009).



Gambar 2.7 Kurva I-V *solar cell* yang menunjukkan tegangan *open circuit*

2.7.3 Pengaruh *Irradiance* Terhadap Panel Surya

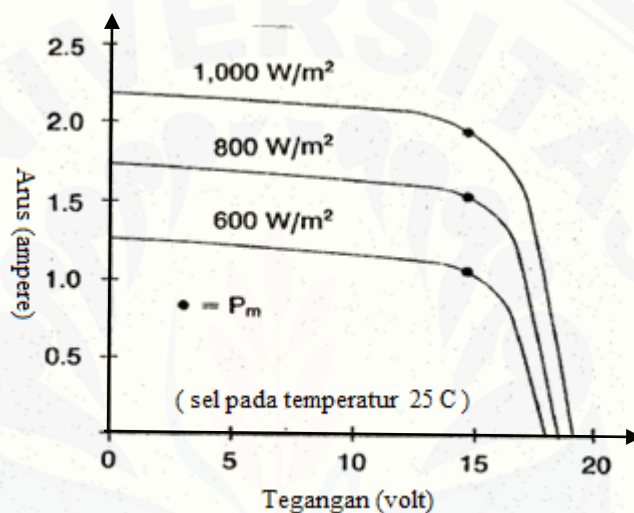
Radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa *range* panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan 4 mikron. Sebagian radiasi mengalami *refleksi* di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*). Kedua radiasi ini yang dipakai 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 – hari, J/m^2 – bulan atau J/m^2 – 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 2.8 memberikan contoh perubahan *irradiance* terhadap kurva daya modul surya.

Gambar 2.8, 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* (Diputara 2008).



Gambar 2.8 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).

2.7.4 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) :

$$P_{in} = JA \quad (2.8)$$

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).

$$P_{out} = Voc \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.9)$$

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*

2.7.5 Fill Factor

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

$$FF = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.10)$$

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).

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (2.11)$$

2.7.6 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 (Diputra, 2008).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.12)$$

dengan

η = Efisiensi panel surya

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

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

2.7.7 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 ;

$$W = P \times t$$

Dimana ;

W : Energi listrik (Joule)

P : Daya (watt)

t : Waktu (s)

2.8 Arduino Mega 2650

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 (*datasheet* ATmega2560). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital *input/output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau *power* dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega2560 kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk Arduino *Duemilanove* atau Arduino *Diecimila*. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega.

Arduino Mega2560 berbeda dari papan sebelumnya, karena versi terbaru sudah tidak menggunakan *chip driver* FTDI USB-to-serial. Tapi, menggunakan *chip* ATmega16U2 (ATmega8U2 pada papan Revisi 1 dan Revisi 2) yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial. Arduino Mega2560 Revisi 2 memiliki resistor penarik jalur HWB 8U2 ke *Ground*, sehingga lebih mudah untuk dimasukkan ke dalam *mode* DFU.

Arduino Mega2560 Revisi 3 memiliki fitur-fitur baru berikut:

- a. 1.0 pinout : Ditambahkan pin SDA dan pin SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat dengan pin RESET, IOREF memungkinkan *shield* untuk beradaptasi dengan tegangan yang tersedia pada papan. Di masa depan, *shield* akan kompatibel baik dengan papan yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5 Volt dan dengan Arduino *Due* yang beroperasi dengan tegangan 3.3 Volt. Dan ada dua pin yang tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan masa depan.
- b. Sirkuit RESET.
- c. Chip ATmega16U2 menggantikan chip ATmega8U2.

Gambar 2.9 Arduino mega2560 (Sumber : www.arduino.cc)

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega2560

Name	Spesifikasi
<i>Microcontroller</i>	ATmega2560
<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>	54 (of which 15 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	16
<i>DC Current per I/O Pin</i>	20 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB of which 8 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	8 KB
<i>EEPROM</i>	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>Length</i>	101.52 mm
<i>Width</i>	53.3 mm
<i>Weight</i>	37 g

2.9 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:

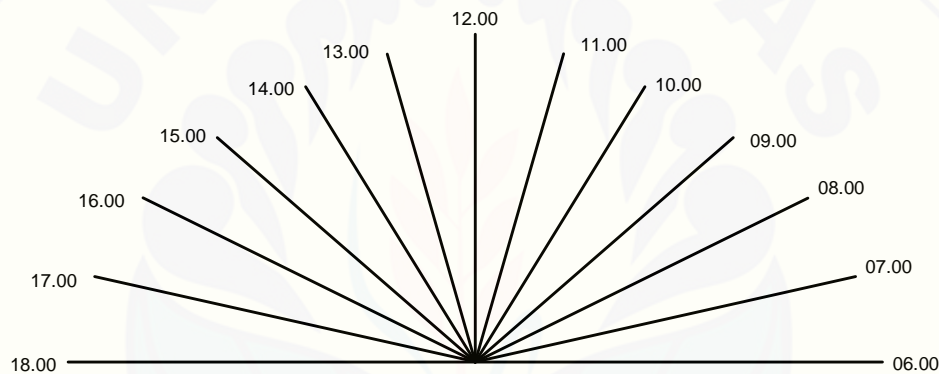
1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa *input* sehingga lebih mudah diatur.
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
4. Memiliki *respon* yang sangat baik terhadap *start*, *stop* dan berbalik 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 (Priahandoko, 2014).

2.10 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:

$$\frac{1}{360^{\circ}} \times (24 \times 60) = 4 \text{ menit} \quad (2.20)$$

Dari persamaan diatas maka dapat diketahui bahwa setiap bumi berotasi sebesar 15° bujur akan ditempuh dalam waktu 1 jam. (Haryadi, 2007)

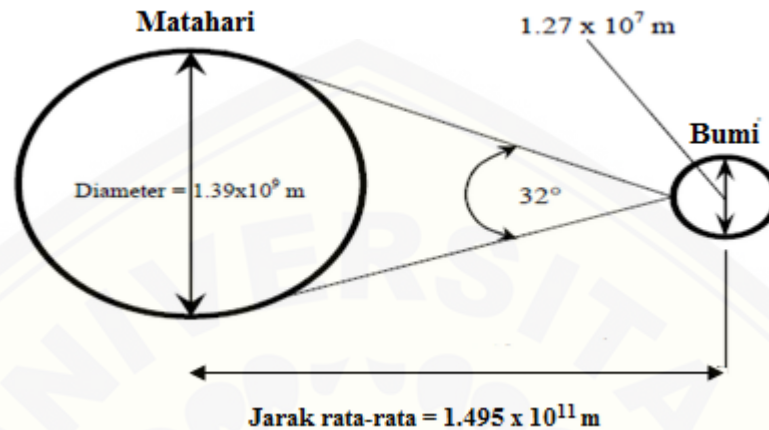


Gambar 2.10 Timing waktu setiap 15° (Sumber : Haryadi, 2007)

2.10.1 Konstanta Surya

Hubungan geometris dari matahari-bumi ditunjukkan Gambar 2.11 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).



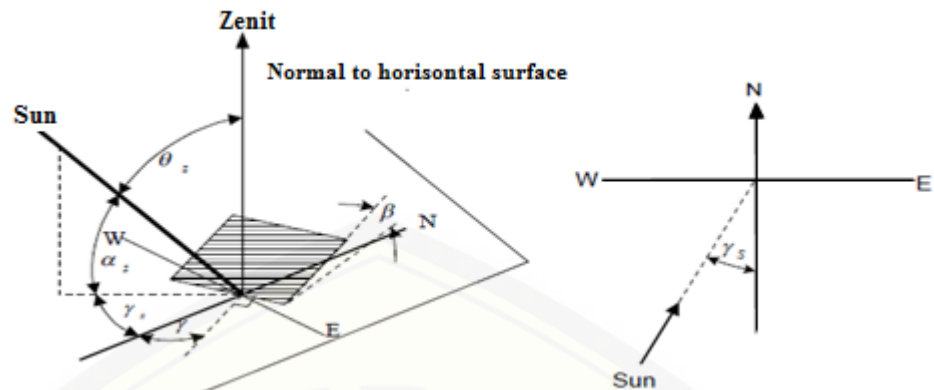
Gambar 2.11 Hubungan geometris bumi-matahari (Sumber: Mulyono, 2003)

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 :

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

2.10.2 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 2.12. Sudut sudut itu (Mulyono, 2003) adalah:



Gambar 2.12 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; $-23,45^\circ < d < 23,45^\circ$.
- 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.

•) permukaan horisontal, $\beta = 0^\circ$ maka :

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (2.14)$$

2.10.3 Menentukan Sudut Datang Radiasi Matahari Ke Reflektor

Pada penelitian “Optimalisasi Daya dan Energi Listrik pada Panel Surya Polikristal dengan Menggunakan Teknologi *Scanning Reflektor*” dilakukan perlakuan menggunakan *reflector* sehingga memberikan penambahan radiasi melalui pantulan cermin datar. Persamaan yang menghubungkan antara sudut datang dari *beam radiation* pada permukaan kolektor dengan sudut lain (Prihandoko, 2014) adalah:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.15)$$

Berdasarkan dari rumus dari sudut datang matahari dapat diperhitungkan sebagai (Prihandoko, Heru, 2014) berikut:

$$\begin{aligned} \cos \theta_r = & (\sin \delta \sin \phi \cos \beta_r) - (\sin \delta \cos \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r) + \\ & (\cos \delta \cos \phi \cos \beta_r \cos \omega) + (\cos \delta \sin \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r \cos \omega) \\ & + (\cos \delta \sin \beta_r \sin \gamma_r \sin \omega) \end{aligned} \quad (2.16)$$

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 :

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (2.17)$$

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

Untuk menghitung sudut azimuth dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma_r = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \quad (2.18)$$

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

Untuk menghitung sudut jam dapat dihitung dengan rumus:

$$\omega = (t_s - 12) \times \frac{360}{24} \quad (2.19)$$

dimana T_s diambil dari jam tengah antara jadwal jam awal pengambilan data dan jam akhir pengambilan data (Prihandoko, 2014)

2.10.4 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*

$$G_0 = G_{SC} \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \right) \right] (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta) \quad (2.20)$$

dengan: G_{SC} = Konsatanta matahari 1353 W/m²

b. Menentukan Indek Langit

$$K_T = \frac{G}{G_0} \quad (2.21)$$

c. Menentukan Radiasi Langsung

$$G_b = G - G_d \quad (2.22)$$

Dengan

$$G_d = G(0,9511 - 0,1604 k_T + 4,388 k_T^2 - 16,638 k_T^3 + 12,336 k_T^4) \quad (2.23)$$

d. Menentukan Faktor Geometri *Reflektor*

$$R_{br} = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_z} \quad (2.24)$$

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 (Prihandoko, Heru, 2014)

$$GT = G_b \cdot R_{br} \cdot A_{Rr} \cdot \rho_r \quad (2.25)$$

dengan: GT = radiasi masukan *reflector*

G_b = Radiasi langsung

R_{br} = Faktor geometri *reflektor*

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

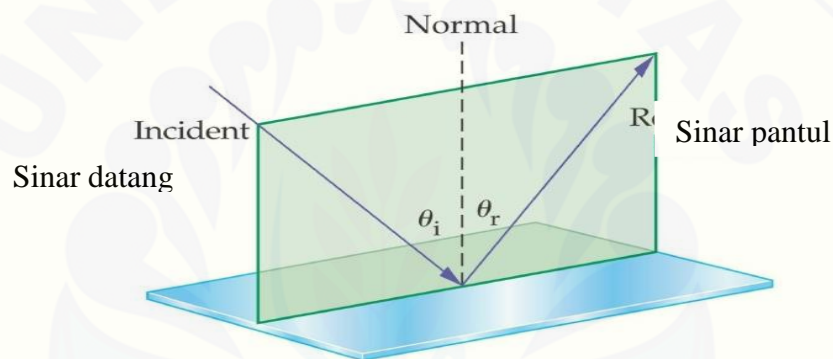
ρ_r = Konstanta pantulan difusi (0,85)

2.11 Cermin Datar

Permukaan cermin datar sangat halus dan memiliki permukaan yang datar pada bagian pemantulannya, biasanya terbuat dari kaca. Dibelakang kaca dilapisi logam tipis mengkilap sehingga tidak tembus cahaya (Priahandoko, 2014).

Cahaya sebagai gelombang dapat memantul bila mengenai suatu benda. Pemantulan cahaya sesuai dengan hukum pemantulan yang dikemukakan oleh Snellius yaitu:

1. Sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul. (Priahandoko, 2014)



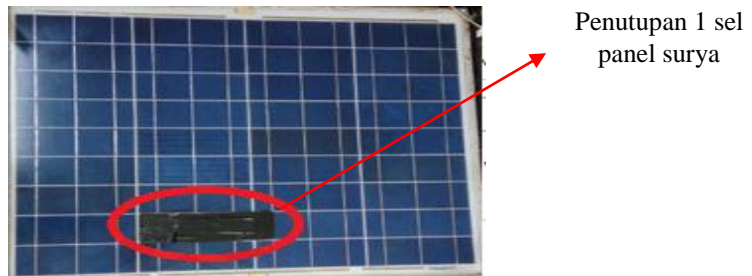
Gambar 2.13 Sudut pantul cermin (Sumber : Priahandoko, 2014)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Konsep Pemikiran Penelitian

Konsep dari pemikiran penelitian ini adalah modul panel surya bercermin *reflektor* (cermin datar) pada empat buah sisinya dengan menggunakan dua perlakuan yang berbeda, yaitu pengujian modul panel surya pertama dengan menggunakan teknologi *scanning reflektor* dan pengujian modul panel surya yang kedua tanpa menggunakan *reflektor*. Sebelum proses pengujian, untuk mendapatkan pembandingan yang baik terhadap nilai karakteristik I_{sc} dan V_{oc} terlebih dahulu ada tahap penyamaan nilai karakteristik modul panel surya, seperti tampilan gambar 3.1 dan 3.2. Pada penyamaan nilai karakteristik ini terlihat bahwa pada gambar 3.1 terdapat penutupan sebuah cell pada modul surya dengan menggunakan isolasi. Dari kedua perlakuan tersebut akan dilakukan pengambilan data secara bersama-sama dengan rentang waktu yang sama, mulai pukul 07.30 WIB sampai dengan pukul 14.30 WIB untuk hari terang dan pukul 08.00 WIB sampai pukul 13.00 WIB untuk hari berawan. Pada proses pengambilan data dilakukan proses *scanning* untuk menentukan nilai daya optimum pada kondisi tertentu. Proses *scanning* nilai daya dilengkapi dengan sebuah beban resistif dan tiga buah relay bantu. Sebuah relay digunakan sebagai pemutus dan penghubung beban setelah atau sebelum *scanning* dan dua buah relay diantaranya digunakan untuk mencari nilai V_{oc} dan I_{sc} pada panel surya secara bergantian dengan selang waktu 1 menit.

Dari data yang diperoleh akan dibandingkan apakah penggunaan *scanning reflektor* cermin datar mempunyai nilai efisiensi dan energi listrik yang lebih baik dan dapat membandingkan penggunaan *reflektor* cermin datar pada kondisi hari berawan dan hari terang ditinjau dari sudut yang dibentuk oleh *reflektor* panel surya terhadap sudut yang dibentuk oleh sudut matahari. Berikut ini adalah bahan dan spesifikasi panel surya yang digunakan dalam penelitian :

Gambar 3.1 *New Tomorrow Solar Panel*Tabel 3.1 Data spesifikasi panel surya *New Tomorrow Solar Panel*

Parameter	Spesifikasi
Merek	<i>New Tomorrow</i>
Model type	SL
Open circuit voltage (V_{oc})	21,63 V
Short circuit current (I_{sc})	3,12 A
Max power voltage (V_{pm})	17,13 V
Max power current (I_{pm})	2,92 A
Tolerance	5%
Test condition	1000 V/m ² , 25 ⁰ C

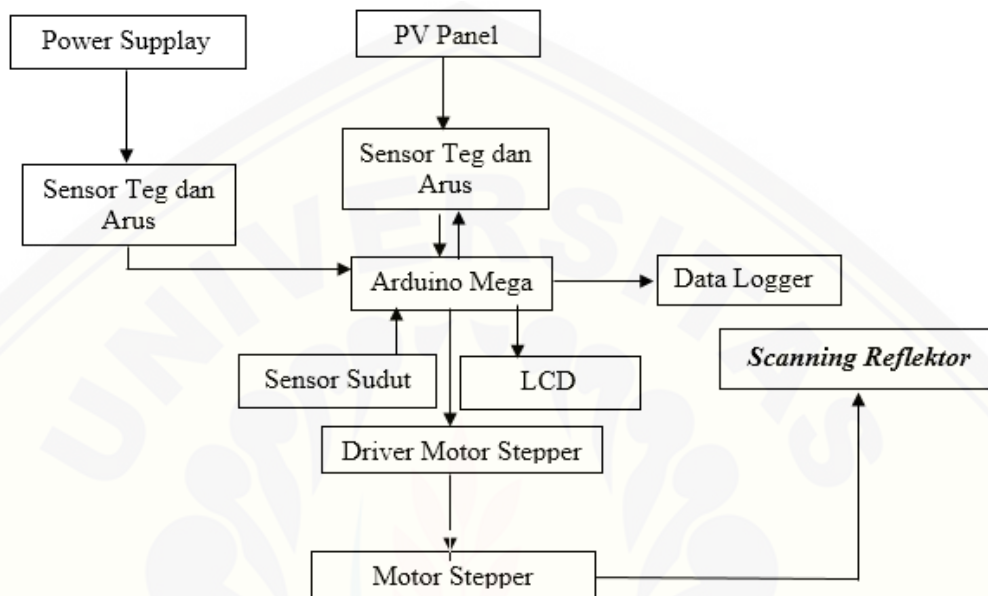
Gambar 3.2 *GH Panel Surya*Tabel 3.2 Data spesifikasi panel surya *GH Panel Surya*

Parameter	Spesifikasi
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/m ² , 25 ⁰ C

3.2 Desain Penelitian

3.2.1 Diagram Blok Sistem Pengujian

Berikut adalah alur diagram blok untuk pengujian.



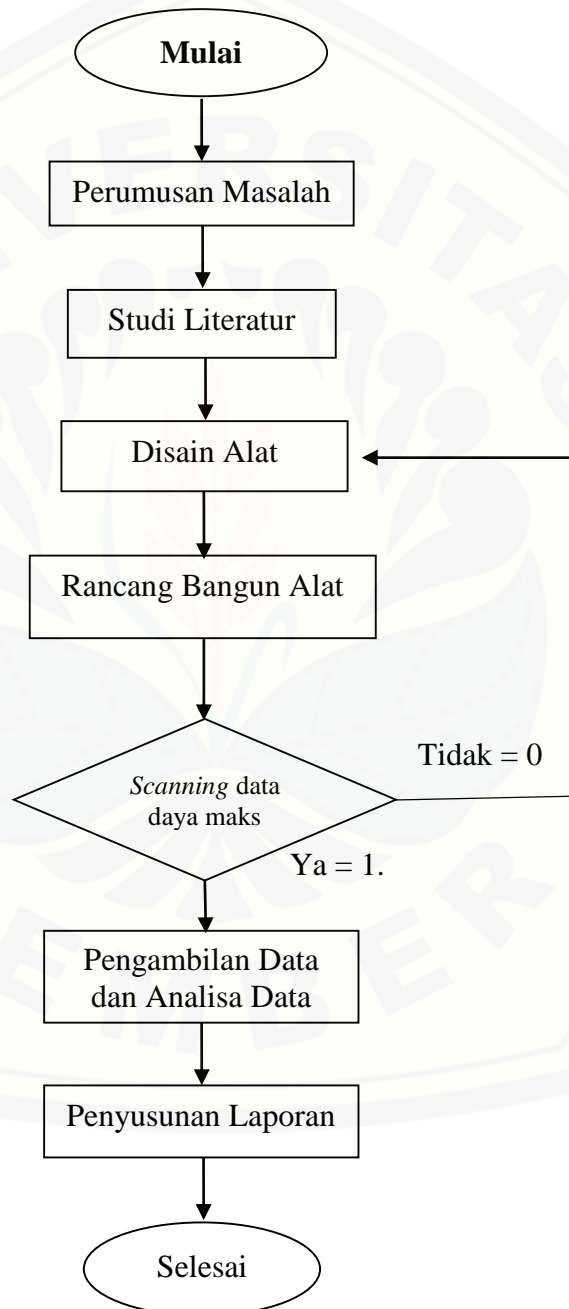
Gambar 3.3 Diagram blok penelitian

Pada diagram blok sistem pengujian pada gambar 3.3 menjelaskan sistem pengujian dari teknologi *scanning reflektor*. Pada sistem kerja alat ini menggunakan sumber dc dari power supplay (batrai) yang yang digunakan untuk *supplay* daya yang dibutuhkan sistem (arduino) untuk aktif. Sedangkan dari hasil daya yang dihasilkan oleh modul panel surya (PV Panel) yang berupa arus dan tegangan akan dilakukan scanning data dengan nilai sudut yang telah dibentuk oleh cermin *reflektor*, dengan motor *stepper* sebagai penggerakannya. Proses gerak motor *stepper* dikendalikan oleh arduino mega2560 yang telah terprogram, yang kemudian menggerakkan *reflektor* cermin datar dengan dilengkapi dengan rangkaian *driver motor stepper*. Dari semua data arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul panel surya serta daya rugi-rugi akibat sistem akan disimpan pada *sillt data loger* yang terukur dalam satuan waktu. Untuk tampilan pada LCD digunakan untuk menampilkan nilai tegangan dan arus yang telah terukur beserta data waktu pengukuran.

3.2.2 Flowchat

a. Flowchat penelitian

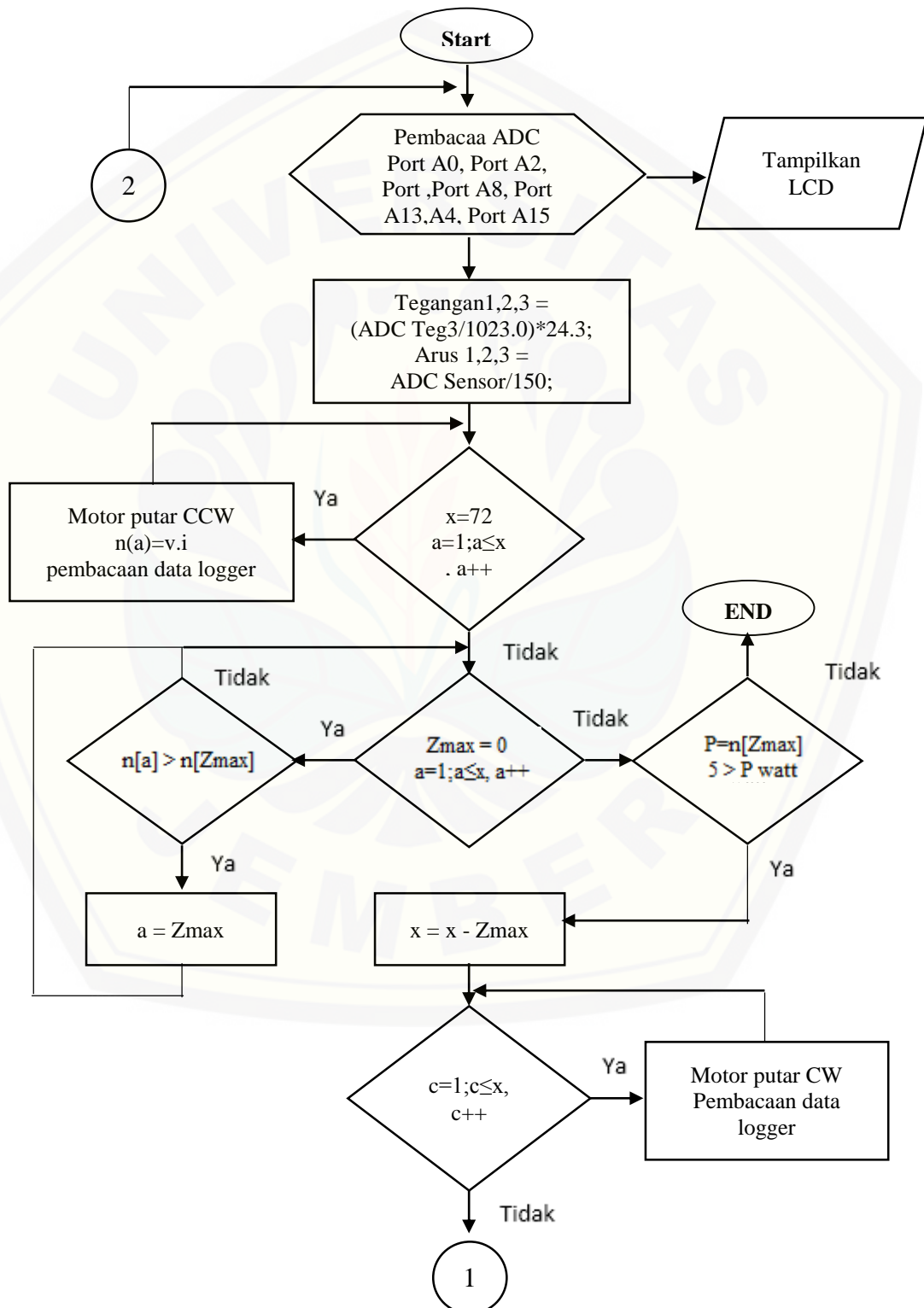
Berikut ini merupakan diagram alir (*Flow Chart*) penelitian tentang “Optimalisasi Daya dan Energi Listrik pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi *Scanning Reflektor Cermin Datar*“ :

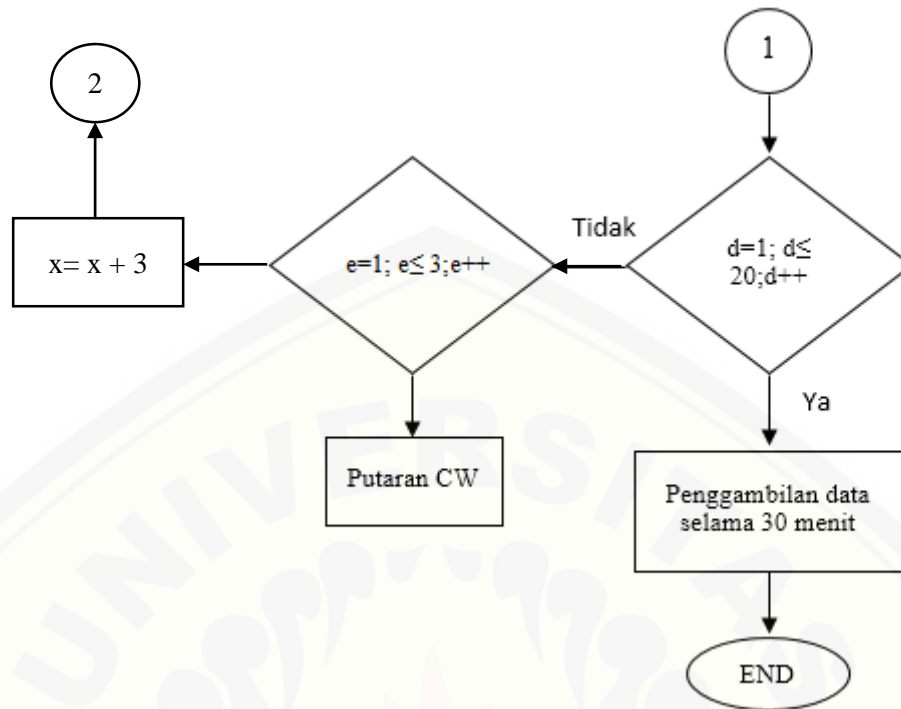


Gambar 3.4 Bagan alur rancangan penelitian

b. Flowchat program

Pada pembuatan alat teknologi *scanning reflektor* dibutuhkan program yang akan memberikan perintah khusus pada mikrokontroler arduino mega2560. Berikut adalah *flowchart* program yang dimasukan dalam program arduino ;



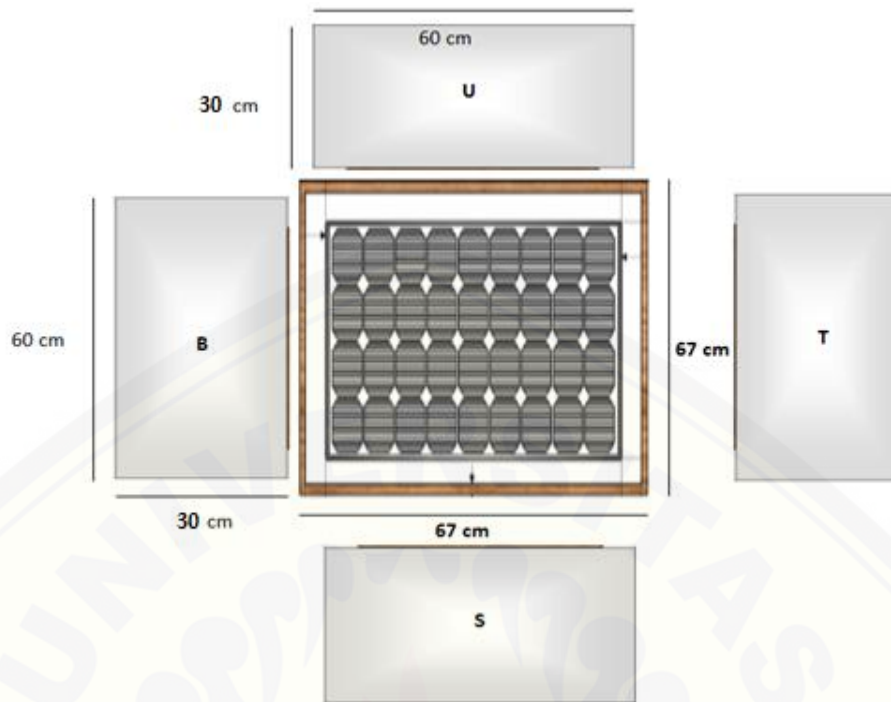


Gambar 3.5 Flowchat program

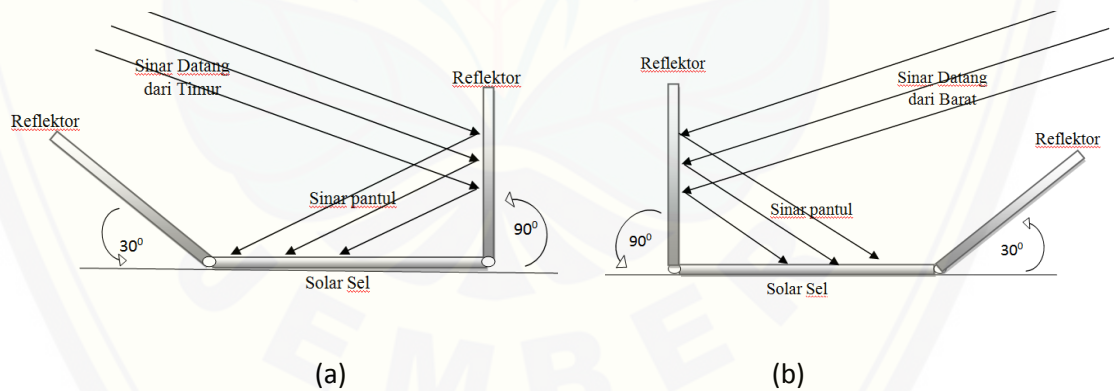
3.4 Desain Alat

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

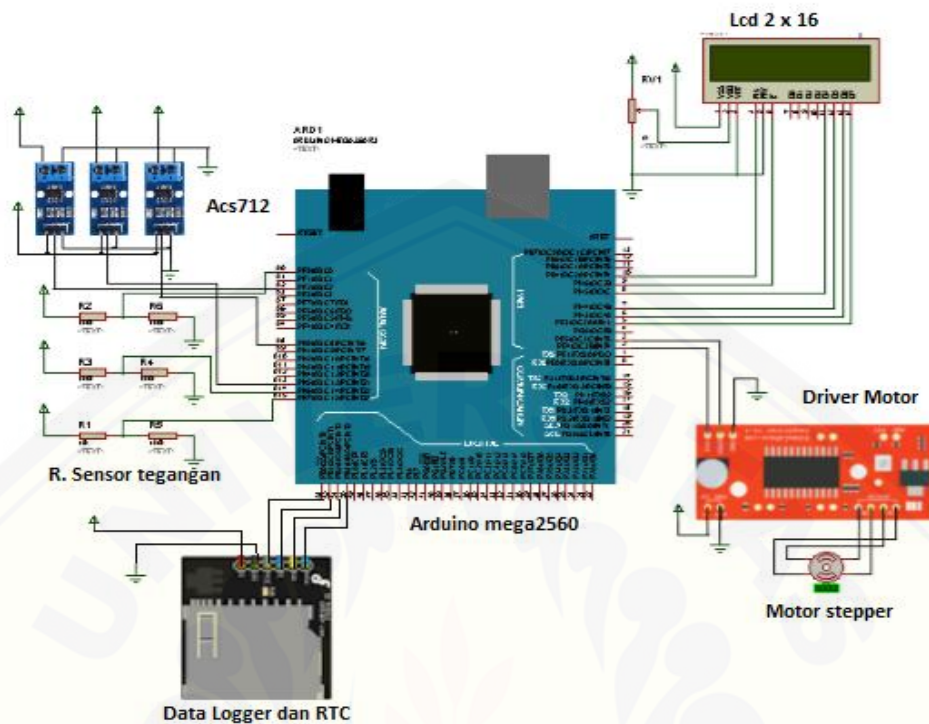
Pada gambar 3.6 menjelaskan gambar desain panel surya dengan *reflektor* cermin datar pada ke-empat buah sisi. Pada keempat *reflektor* didesain dengan menggunakan poros engsel pada setiap perpotongan cermin dengan panel surya dengan sudut maksimal *reflektor* sesuai dengan gambar 3.7 (a) dan (b) yakni desain gerak *reflektor* arah timur dan barat. Berbeda dengan desain *reflektor* sisi utara dan selatan, kedua sisi tersebut dapat diatur secara manual sesuai dengan sudut semu tahunan matahari. Berikut juga disertakan gambar rangkaian alat *scanning reflektor* yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3.6 Desain modul panel surya dan penempatan cermin datar



Gambar 3.7 Desain Gerak Reflektor Barat dan Timur



Gambar 3.8 Gambar rangkaian sistem

3.5 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, dilakukan metode penelitian dengan menguji modul panel surya dengan melakukan dua perlakuan yaitu perlakuan yang pertama dengan memberikan teknologi *scanning reflektor* cermin datar yang bergerak dari timur ke barat, dengan mempertimbangkan nilai daya yang dihasilkan pada setiap sudut *scanning* cermin *reflektor*. Perlakuan yang kedua yaitu dengan menguji nilai hasil *output* dari modul panel surya tanpa menggunakan *reflektor*. Pengujian ini dilakukan dengan cara bersama-sama dengan memanfaatkan *data logger* untuk membantu mencatatkan seluruh nilai pengukuran I_{sc} dan V_{oc} kedalam sebuah *microSD*. Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data penelitian ini sebagai berikut:

- a. Perancangan alat, pemasangan cermin datar sebagai *reflector* 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.



Gambar 3.9 Pengambilan arah *reflektor* dengan kompas

- c. Melakukan pencatatan data intensitas energi matahari yang diterima oleh modul panel surya.



Gambar 3.10 Pengambilan data intensitas energi matahari

- d. Melakukan proses pembacaan arus, tegangan dan daya otomatis untuk mengetahui sudut *reflektor* yang paling optimal untuk menghasilkan nilai energi listrik.



Gambar 3.11 Pengambilan data intensitas cahaya

- e. Melakukan pengukuran suhu pada permukaan modul panel surya setiap 30 menit sekali dengan menggunakan termometer.
- f. Pengukuran V_{OC} dilakukan dengan cara menggunakan *relay* bantu untuk memutus tegangan dari beban setelah melakukan proses *scanning* dan kemudian dibaca oleh sensor tegangan.
- g. Pengukuran I_{sc} dilakukan dengan cara menggunakan *relay* bantu untuk menyambungkan sisi positif dan negatif *output* keluaran panel surya dan kemudian dibaca oleh sensor arus.
- h. Pengukuran intensitas cahaya dengan *luxmeter* yang akan menghasilkan nilai intensitas cahaya dengan satuan lux.
- i. Pengukuran Intensitas energi matahari yang dihasilkan oleh matahari dilakukan dengan menggunakan alat ukur *solarimeter* dengan satuan W/m^2 .
- j. Perhitungan daya keluaran, daya masukan dan energi listrik yang dihasilkan

Pada perhitungan untuk mencari nilai energi listrik yang dihasilkan oleh kedua panel surya, terlebih dahulu kita mengetahui nilai daya *input* yang diterima oleh panel surya dari energi matahari. Dimana daya *input* tersebut dapat diketahui dengan perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area modul panel surya dengan persamaan:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (3.1)$$

dengan

P_{in} : Daya *Input* akibat *irradiance* matahari (Watt)

I_r : Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A : Luas area permukaan *photovoltaic* (m²)

Selanjutnya dapat dicari daya keluaran (P_{out}) pada modul panel surya dengan perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{OC}), arus hubung singkat (I_{SC}), dan *Fill Factor* (FF) dengan persamaan:

$$P_{out} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (3.2)$$

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*

Nilai FF dapat diketahui dengan rumus:

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3.3)$$

dengan

V_m : Tegangan maksimal (Volt)

I_m : Arus maksimal (Ampere)

V_{OC} : Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (Volt)

I_{SC} : Arus hubung singkat pada panel surya (Ampere)

Efisiensi panel surya dihitung dengan rumus:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan

η : Efisiensi panel surya (%)

P_{out} : Daya yang dibangkitkan oleh panel surya (Watt)

P_{in} : Daya *input* akibat *irradiance* matahari (Watt)

Sedangkan untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat dicari dengan persamaan:

$$W = \frac{P_{out}}{t} \quad (3.5)$$

dengan

W : energi listrik yang dihasilkan panel surya (Joule)

P_{out} : Daya yang dibangkitkan oleh panel surya (Watt)

t : waktu yang dibutuhkan selama pengujian (s)

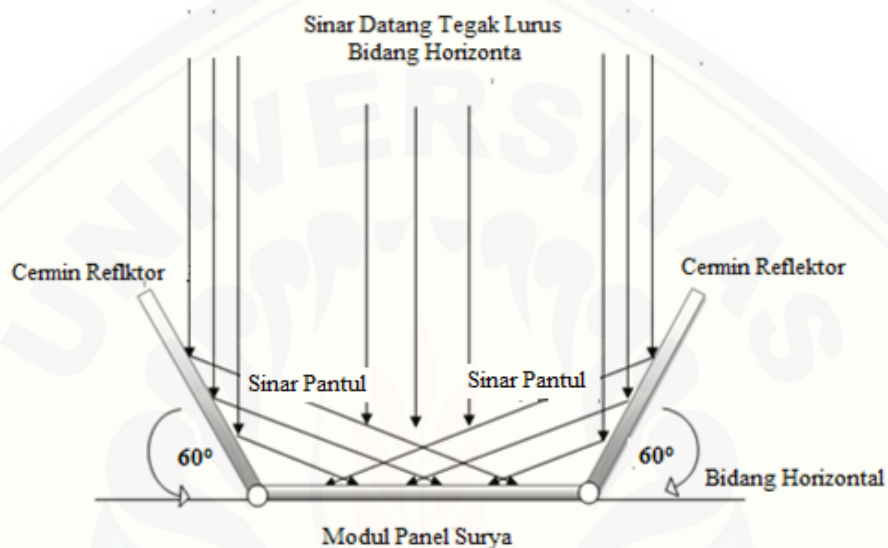
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Gerak Reflektor Terhadap Gerak Matahari

Pada penelitian ini, membahas mengenai pemodelan modul panel surya dengan teknologi *scanning reflektor* yang memanfaatkan cermin datar sebagai *reflektor* pantul cahaya. Pada penelitian ini akan membandingkan nilai *efisiensi* daya listrik antara modul panel surya yang menggunakan teknologi *scanning reflektor* dan tanpa menggunakan *reflektor*. Pada teknologi *scanning reflektor* ini menggunakan sebuah mikrokontroler *arduino mega2560* yang dirancang untuk mendeteksi atau *scanning* nilai daya maksimum pada suatu titik sudut tertentu. Penggunaan *scanning* ini akan sangat baik diterapkan pada kondisi matahari berawan atau langit yang berawan karena pada umumnya pemanfaatan modul panel surya kurang begitu baik dalam penangkapan intensitas energi matahari saat matahari berawan atau langit berawan. Pada dasarnya *scanning* ini dapat dilakukan kapanpun menyesuaikan pengaktifan alat *scanning reflektor* ini, yang kemudian alat ini akan *me-reset* kembali atau melakukan *scanning* ulang setelah waktu 30 menit untuk mencari daya maksimum pada waktu tersebut.

Pada desain alat ini, menggunakan empat buah *reflektor* cermin datar yang didesain berada pada empat sisi modul panel surya, yakni sisi utara, timur, selatan dan barat. Ke-empat *reflektor* ini di desain mempunyai fungsi yang berbeda-beda, *reflektor* sisi utara dan selatan di rancang sebagai *reflektor* permanen dengan sudut α sebesar 60° terhadap garis horisontal bidang datar. Tujuan pemasangan ini hanya untuk menyesuaikan gerak tahunan matahari yang hanya bergerak beberapa derajat saja dari titik tengah bumi, desain ini terlihat seperti pada gambar 4.1. Sedangkan *reflektor* sisi barat dan timur di desain sebagai *reflektor* gerak, yang bergerak dari timur ke barat. Secara mekanik *Reflektor* ini bergerak dengan menggunakan sebuah *motor stepper* dengan beberapa *gear box*, sehingga memungkinkan untuk bergerak secara bersamaan.

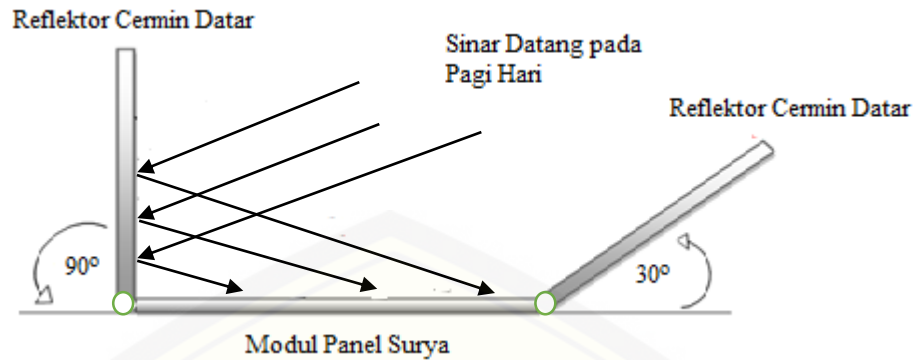
Sedangkan pada *reflektor* sisi barat dan timur ini masing masing memiliki sudut minimal α dan maksimal α terhadap bidang horisontal sebesar 30° dan 90° , seperti tampak pada gambar 4.2 dan gambar 4.3. Penggunaan *reflektor* timur dan barat di sini berfungsi sebagai media pemantul energi cahaya yang diberikan matahari yang bergerak dari arah timur ke barat .



Gambar 4.1 Pemantulan radiasi matahari terhadap cermin *reflektor* 60°

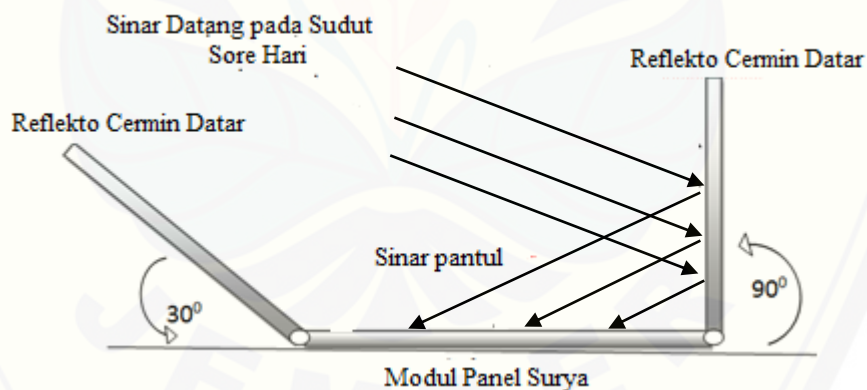
Pada gambar 4.1 dijelaskan bahwa sinar datang yang tegak lurus terhadap bidang horisontal akan mencapai nilai radiasi matahari maksimum ketika kedua buah *reflektor* berada pada sudut α sebesar 60° . Ketika nilai radiasi matahari mencapai nilai yang maksimum maka akan memberikan keluaran daya yang optimum pada kondisi tersebut. Kondisi ini biasanya terjadi pada waktu siang hari ketika matahari tepat berada tegak lurus terhadap bidang horisontal.

Teknologi *scanning reflektor* ini adalah sebuah proses pencarian titik daya optimal pada suatu titik tertentu dengan memperhatikan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya pada saat pengujian dengan suatu beban resistif. Proses scanning ini terjadi setiap 30 menit sekali dengan jangkauan sudut scanning semakin lama semakin kecil kearah barat. Dengan ini maka energi listrik dalam penggunaan motor *stepper* untuk menggerakkan cermin semakin lama berkurang, sehingga dapat meminimalisir energi listrik yang terbuang.



Gambar 4.2 Pemantulan radiasi matahari pada pagi hari

Pada gambar 4.2 telah dijelaskan, sudut pantul sinar datang matahari pada pagi hari. Untuk mencapai radiasi maksimum pada pagi hari dengan sudut sinar datang matahari kurang dari 45° maka gerak *reflektor* sisi barat membentuk sudut 90° dan gerak *reflektor* sisi timur membentuk sudut 30° . Sehingga ketika radiasi matahari yang di terima oleh panel surya maksimum maka akan mendapat nilai titik daya *output* maksimum.



Gambar 4.3 Pemantulan radiasi matahari pada sore hari

Pada gambar 4.3 telah dijelaskan, sudut pantul sinar datang matahari pada sore hari. Untuk mencapai radiasi maksimum pada sore hari dengan sudut sinar datang matahari kurang dari 45° maka gerak *reflektor* sisi timur membentuk sudut 90° dan gerak *reflektor* sisi barat membentuk sudut 30° . Sehingga ketika radiasi matahari yang di terima oleh panel surya maksimum maka akan mendapat nilai titik daya *output* maksimum.

4.2 Uji Karakteristik Pembandingan Modul Panel Surya

Pada penelitian ini akan digunakan dua buah modul panel surya sebagai pembandingan keluaran daya yang dihasilkan akibat penambahan *scanning reflektor* cermin datar. Pada kedua modul panel surya yang digunakan mempunyai nilai daya *output* yang sama yaitu 50 WP. Namun pada beberapa pengujian dengan kualitas radiasi matahari yang sama kita dapatkan nilai Voc dan Isc yang sedikit berbeda antara satu dengan yang lain. Cara yang digunakan pada tahap ini adalah dengan memberikan penutup hitam (*selotip*) pada salah satu sel pada modul surya.

Dengan adanya modifikasi pada salah satu panel diharapkan dapat memberikan *perform* karakteristik yang sama, sehingga kedua buah panel dapat digunakan sebagai pembandingan pengujian yang lebih *valid* daripada penelitian sebelumnya. Berikut ini adalah data karakteristik kedua buah modul panel surya yang akan digunakan sebagai penelitian, terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian persamaan karakteristik

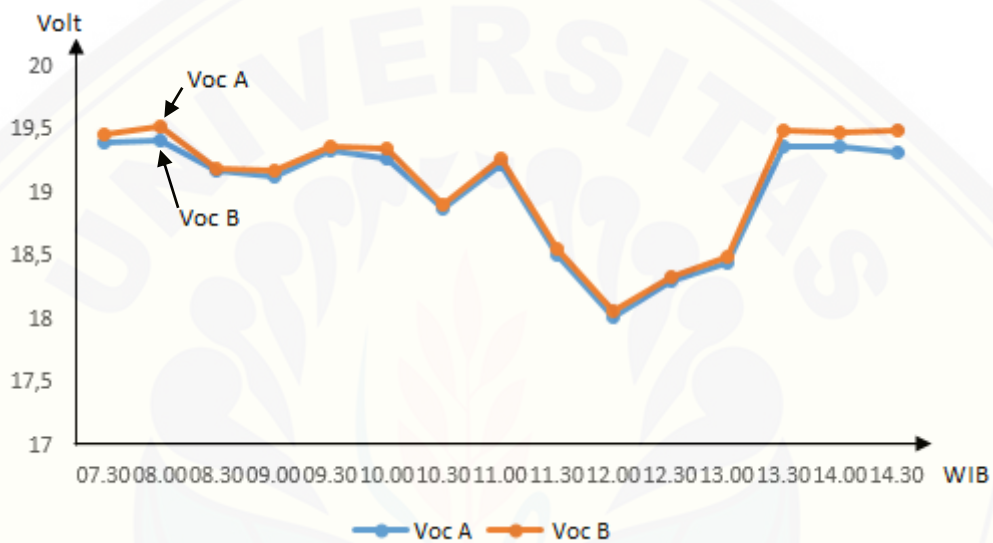
Waktu WIB	Voc A Volt	Voc B Volt	Isc A Ampere	Isc B Ampere	Daya A Watt	Daya B Watt	Error %
07.30	19,4	19,47	1,7	1,69	23,596	23,542	0,230
08.00	19,42	19,53	1,86	1,84	25,843	25,710	0,515
08.30	19,18	19,2	1,96	1,94	26,896	26,649	0,917
09.00	19,13	19,17	2,25	2,21	30,795	30,311	1,572
09.30	19,34	19,36	2,45	2,41	33,900	33,381	1,531
10.00	19,28	19,35	2,62	2,56	36,140	35,441	1,935
10.30	18,87	18,9	2,77	2,76	37,397	37,321	0,203
11.00	19,23	19,28	2,99	2,98	41,137	41,106	0,075
11.30	18,51	18,55	0,75	0,74	9,932	9,821	1,120
12.00	18,02	18,06	0,77	0,76	9,927	9,820	1,080
12.30	18,3	18,34	0,26	0,25	3,404	3,280	3,636
13.00	18,44	18,5	0,25	0,25	3,298	3,309	0,325
13.30	19,37	19,49	2,36	2,21	32,706	30,817	5,776
14.00	19,36	19,48	2,01	1,99	27,841	27,735	0,381
14.30	19,32	19,5	0,74	0,69	10,229	9,626	5,888

Keterangan :

A = *New Tomorrow Solar Panel*

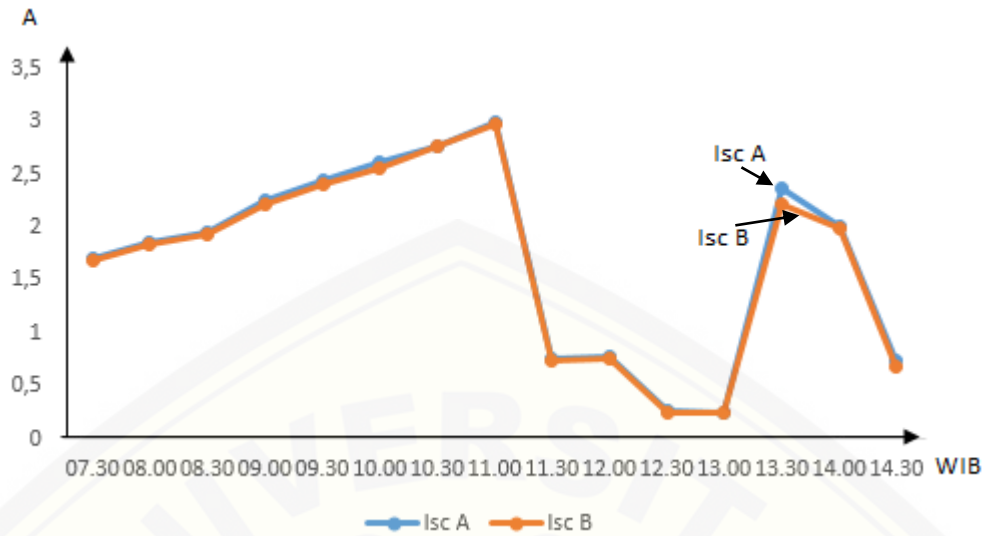
B = *SH Solar Panel*

Pada tabel 4.1 di atas merupakan sebuah data yang diperoleh dari hasil perbandingan karakteristik dua buah modul panel surya, yakni *New Tomorrow Solar Panel (A)* dan *SH Solar Panel (B)* pada tanggal 23 Januari 2016. Pengukuran dilakukan pada waktu bersamaan dengan rentang waktu per-30 menit untuk pengambilan data. Berikut adalah perbandingan nilai V_{oc} , I_{sc} dan P_{out} yang disajikan dalam grafik 4.4, grafik 4.5 dan grafik 4.6.



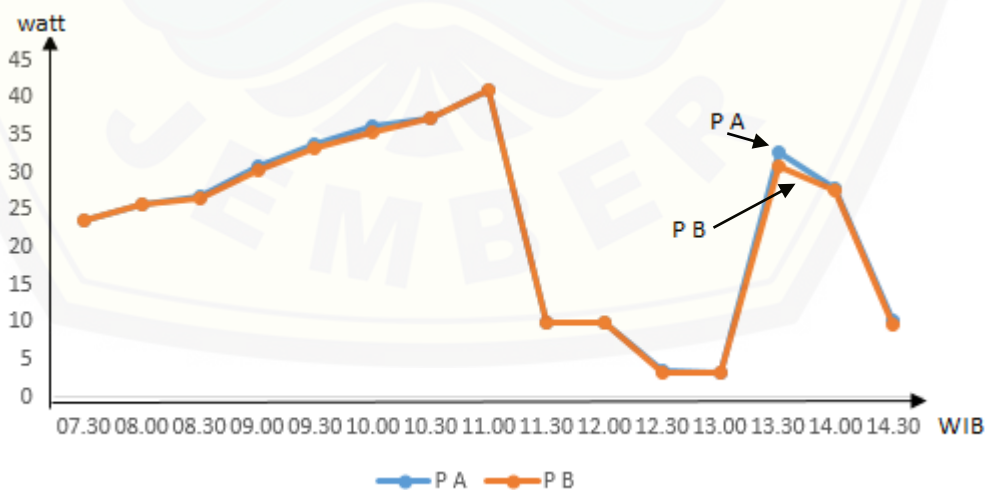
Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai tegangan open circuit (V_{oc}) setelah kalibrasi

Pada gambar 4.4 dapat diketahui nilai tegangan V_{oc} A dan V_{oc} B pada modul panel surya dari hasil pengujian mempunyai persamaan nilai yang hampir sama dalam setiap waktu, yang di mulai pukul 07.30 WIB sampai pukul 14.30 WIB. Pada grafik diatas nilai tegangan V_{oc} B terlihat lebih tinggi daripada tegangan V_{oc} A dengan selisih rata-rata error 0,317 % dengan nilai data *error* terbesar pada pukul 13.30 WIB dengan besar 0,932 % dan nilai data *error* terkecil pada pukul 09.30 dengan besar 0,103 %.



Gambar 4.5 Perbandingan nilai arus *short circuit* setelah kalibrasi

Pada gambar 4.5 dapat diketahui nilai arus Isc A dan Isc B pada modul panel surya dari hasil pengujian mempunyai persamaan nilai yang hampir sama dalam setiap waktu, yang di mulai pukul 07.30 WIB sampai pukul 14.30 WIB. Pada grafik diatas nilai arus Isc A terlihat lebih tinggi daripada arus Isc B dengan selisih rata-rata sebesar 0,032 % dengan nilai error 2,168 % . Sedangkan nilai data error terbesar pada pukul 14.30 WIB dengan besar 6,757 % dan nilai data error terkecil pada pukul 13.00 WIB dengan besar 0 %.



Gambar 4.6 Perbandingan nilai daya setelah kalibrasi

Pada gambar 4.6 dapat diketahui nilai daya P A dan P B pada modul panel surya dari hasil pengujian mempunyai persamaan nilai yang hampir sama dalam setiap waktu, yang di mulai pukul 07.30 sampai pukul 14.30. Pada grafik diatas nilai daya pada modul panel A terlihat lebih tinggi daripada daya modul panel B dengan selisih rata-rata sebesar 0,374 watt dengan nilai error 1,904% . Sedangkan nilai data selisih terbesar pada pukul 14.30 WIB dengan besar 0,603 watt dan nilai data selisih terkecil pada pukul 11.00 WIB dengan besar 0,031 watt.

Dari seluruh data yang diperoleh selisih dan *error persent* daya yang dihasilkan kurang dari 2 watt dengan besar *error persent* 10%, sehingga dengan demikian karakteristik kedua buah panel surya sudah di anggap memenuhi syarat sebagai pembanding dalam sebuah penelitian.

4.3 Perhitungan Radiasi Masukan Karena Penambahan Reflektor

4.3.1 Menentukan Sudut Datang Radiasi Matahari yang Diterima Reflektor.

Pada penelitian ini dilakukan penambahan *reflektor* dengan teknologi *scanning reflektor* yang bertujuan untuk mendapatkan penambahan radiasi dari matahari. Pergerakan sudut dari *reflektor* ini bergantung dari perubahan daya yang di terima oleh panel surya per-30 menit. Ketika perkalian nilai arus dan tegangan yang dibebani oleh beban resistif yang tetap dan modul panel surya mencapai nilai *output* daya yang paling optimum, maka secara otomatis *reflektor* panel surya akan kembali ke sudut dimana nilai daya optimum dengan nilai radiasi optimum pada saat itu. Seperti yang telah disajikan pada tabel 4.2 pada pukul 07.30 sudut yang maksimum yang dibentuk oleh *reflektor* cermin datar adalah 87° untuk *reflektor* sisi barat dan 33° untuk *reflektor* sisi timur. Dari data ini kita dapat menentukan besar sudut radiasi matahari yang diterima *reflektor* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\cos \theta_r = (\sin \delta \sin \phi \cos \beta_r) - (\sin \delta \cos \phi \sin \beta_r \cos \gamma) + (\cos \delta \cos \phi \cos \beta_r \cos \omega) + (\cos \delta \sin \phi \sin \beta_r \cos \gamma \cos \omega) + (\cos \delta \sin \beta_r \sin \gamma \sin \omega)$$

Dengan demikian untuk menghitung besar sudut radiasi matahari yang diterima *reflektor*, terlebih dahulu menghitung komponen sudut matahari yang dipengaruhi oleh gerak semu tahunan matahari:

- a. Mencari sudut *deklinasi*

Pengambilan data matahari dilakukan tanggal 28 Januari 2016, pukul 07.30 WIB sampai pukul 14.30 WIB. ($n = 28$)

$$\begin{aligned}\delta &= 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \\ &= 23,45 \sin \left(360 \frac{284+28}{365} \right) \\ &= 23,45 \times -0,791 \\ &= -18,548^{\circ}\end{aligned}$$

- b. Mencari sudut derajat jam

$$\begin{aligned}\omega &= (t_s - 12) \times \frac{360}{24} \\ &= (7,5 - 12) \times 15 \\ &= -67,5^{\circ}\end{aligned}$$

- c. Mencari sudut *zenith*

$$\begin{aligned}\cos \theta_z &= \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \\ &= \cos -18,548^{\circ} \cos 8,1^{\circ} \cos -67,5^{\circ} + \sin -18,548^{\circ} \sin 8,1^{\circ} \\ &= (0,948 \times 0,990 \times 0,383) + (-0,318 \times 0,141) \\ &= 0,359 + (-0,045) \\ &= \cos^{-1} 0,314 \\ \theta_z &= 71,677^{\circ}\end{aligned}$$

- d. Mencari sudut *azimuth*

$$\begin{aligned}\sin \gamma &= \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \\ &= \frac{\sin -67,5 \cos -18,548}{\sin 71,677} = \frac{-0,924 \cdot 0,948}{0,949} \\ &= -0,923^{\circ} \\ &= \sin^{-1} -0,923^{\circ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -67,320^0 \\
 \gamma_r &= \gamma + 90^0 \\
 &= -67,320^0 + 90^0 \\
 &= 22,680^0
 \end{aligned}$$

e. Mencari sudut datang radiasi matahari yang akan diterima *reflector*

$$\begin{aligned}
 \cos \theta_r &= (\sin \delta \sin \phi \cos \beta_r) - (\sin \delta \cos \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r) + (\cos \delta \cos \phi \cos \beta_r \\
 &\quad \cos \omega) + (\cos \delta \sin \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r \cos \omega) + (\cos \delta \sin \beta_r \sin \gamma_r \sin \omega) \\
 &= (\sin -18,548 \sin 8,1 \cos 87) - (\sin -18,548 \cos 8,1 \sin 87 \cos 22,680) \\
 &\quad + (\cos -18,548 \cos 8,1 \cos 87 \cos -67,5) + (\cos -18,548 \sin 8,1 \sin \\
 &\quad 87 \cos 22,680 \cos -67,5) + (\cos -18,548 \sin 87 \sin 22,680 \sin - \\
 &\quad 67,5) \\
 &= (-0,318 \cdot 0,141 \cdot 0,052) - (-0,318 \cdot 0,990 \cdot -0,924 \cdot 0,923) + (0,948 \\
 &\quad \cdot 0,990 \cdot 0,052 \cdot 0,383) + (0,948 \cdot 0,141 \cdot 0,999 \cdot 0,923 \cdot 0,383) + (0,948 \\
 &\quad \cdot 0,999 \cdot 0,386 \cdot -0,924) \\
 &= 0,017 \\
 &= \cos^{-1} 0,017 \\
 \theta_r &= 89,054^0
 \end{aligned}$$

Dari sini dapat disimpulkan bahwa ketika sudut *reflektor* berada pada sudut 87^0 untuk sisi *reflektor* bagian barat, menghasilkan sudut datang matahari yang diterima *reflektor* sebesar $89,054^0$. Sedangkan untuk mencari sudut pantul yang diterima oleh permukaan panel surya dapat dicari hukum pemantulan cahaya yang dikemukakan oleh *Snellius* yaitu sudut datang sinar matahari sama dengan sudut pantul *relector*. Berikut adalah data hasil penelitian yang dilakukan yang dilakukan pada tanggal 28 Januari 2016 dari pukul 07.30 WIB sampai 14.30 WIB dengan kondisi hari terang sedikit berawan.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian sudut datang matahari yang diterima *Reflektor*.

Waktu	ω	β_r	δ	$\cos \theta_z$	θ_z	γ_r	$\cos \theta_r$	θ_r
7.30	-67,5	87	-18,548	0,314	71,677	22,680	0,017	89,054
08.00	-60	80	-18,548	0,424	64,882	24,934	0,075	85,720
08.30	-52,5	78	-18,548	0,527	58,226	27,781	0,111	83,624
09.00	-45	72	-18,548	0,619	51,766	31,411	0,195	78,744
9.30	-37,5	66	-18,548	0,700	45,587	36,103	0,292	73,019
10.00	-30	65	-18,548	0,768	39,822	42,252	0,333	70,573
10.30	-22,5	63	-18,548	0,822	34,681	50,386	0,382	67,548
11.00	-15	53	-18,548	0,862	30,481	61,070	0,531	57,913
11.30	-7,5	49	-18,548	0,886	27,656	74,538	0,590	53,860
12.00	0	47	-18,548	0,894	26,648	90,000	0,610	52,442
12.30	7,5	50	-18,548	0,886	27,656	105,462	0,561	55,869
13.00	15	46	-18,548	0,862	30,481	118,930	0,581	54,469
13.30	22,5	54	-18,548	0,822	34,681	129,614	0,468	62,074
14.00	30	44	-18,548	0,768	39,822	137,748	0,526	58,242
14.30	37,5	39	-18,548	0,700	45,587	143,897	0,512	59,195

Pada tabel 4.2 dapat diketahui, nilai sudut derajat jam (ω) akan bernilai negatif jika matahari berada sebelum jam 12.00 WIB atau bisa dikatakan sebelum sudut matahari tegak lurus dengan bidang horisontal permukaan tanah. Nilai sudut *deklinasi* merupakan sudut posisi matahari saat *solar noon* yang berhubungan terhadap bidang khatulistiwa, utara positif; $-23,45^\circ < d < 23,45^\circ$, pada pengujian ini besar sudut *deklinasi* sebesar $-18,548^\circ$ pada semua jam. Pada pukul 07.30 WIB sampai pukul 12.00 WIB besar sudut datang matahari yang diterima *reflektor* cermin semakin kecil dikarenakan pada kondisi ini *reflektor* yang menerima adalah *reflektor* bagian barat. Pada pukul 12.00 WIB sampai 14.30 WIB nilai sudut datang matahari yang diterima *reflektor* semakin besar, dikarenakan *reflektor* yang menerima sudut datang matahari adalah *reflektor* sisi timur.

4.3.2 Analisis Hubungan *Reflektor* Terhadap Sudut Matahari.

Pada dasarnya matahari bergerak dari timur ke barat, karena pengaruh rotasi bumi yang berubah setiap saat, dengan besar rotasi 360° dari timur menuju barat terhadap garis bujur. Periode rotasi bumi membutuhkan waktu 23 jam, 56 menit

4,09 detik. Dari data tersebut dapat diambil suatu ketetapan waktu bahwa setiap 1° bujur ditempuh dalam waktu:

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

Sehingga perubahan sudut sebesar 15° mampu ditempuh matahari dalam waktu 1 jam. Untuk menentukan sudut jam matahari sebagai tolak ukur pergerakan *reflektor* panel surya kita dapat menentukan dengan persamaan.

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

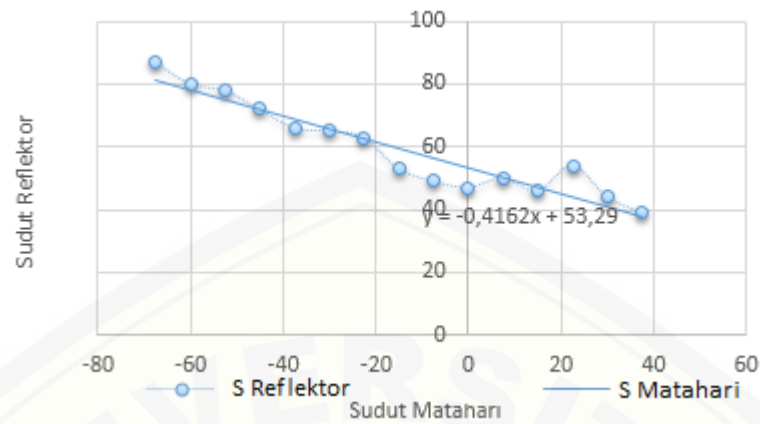
dengan t_s = waktu jam

Dari hasil perhitungan tersebut menghasilkan nilai negatif dikarenakan posisi matahari berada sebelum pukul 12.00 WIB sehingga bernilai negatif. Sedangkan untuk posisi matahari berada setelah pukul 12.00 WIB akan bernilai positif.

Pada penelitian ini pengambilan data dimulai pukul 07.30 WIB dengan selang waktu 30 menit hingga pukul 14.30 WIB, sehingga didapat data sudut yang dibentuk *reflektor* dan sudut yang dibentuk matahari seperti pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Data sudut matahari dan sudut *Reflektor*

Waktu	W/m ²	ω	B
7.30	352	-67,5	87
08.00	414	-60	80
08.30	529	-52,5	78
09.00	538	-45	72
9.30	632	-37,5	66
10.00	605	-30	65
10.30	815	-22,5	63
11.00	724	-15	53
11.30	800	-7,5	49
12.00	416	0	47
12.30	392	7,5	50
13.00	321	15	46
13.30	500	22,5	54
14.00	580	30	44
14.30	440	37,5	39



Gambar 4.7 Hubungan sudut *reflektor* terhadap sudut matahari

Dari tabel 4.3 dan gambar 4.7 dapat terlihat ada beberapa perubahan kondisi sudut pada pukul 12.30 WIB dan 13.00 WIB yang tiba-tiba mengalami kenaikan dan penurunan sudut yang tidak *linier* dengan perubahan sudut matahari, hal ini dikarenakan karena ada perubahan radiasi matahari yang buruk akibat adanya awan yang menyelimuti dan menghalangi daya pancar radiasi matahari. Pada kondisi inilah alat ini mempunyai keuntungan daripada *reflektor* biasa, karena dengan adanya teknologi *scanning reflektor*, panel surya tetap mampu memaksimalkan daya yang dihasilkan melalui *scanning* daya pada waktu tertentu.

Pada gambar 4.7 kita dapat mendapatkan sebuah persamaan untuk mendapatkan sudut *reflektor* yang optimal untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan pada panel surya. Dengan hubungan antara sudut *reflektor* terhadap sudut matahari dapat diperoleh sebuah persamaan dengan demikian dapat kita tarik pendekatan persamaan untuk sudut optimal dari *reflektor* : $y = -0,416x + 53,29$ pada kondisi saat penelitian. Persamaan ini bisa berubah sesuai dengan kondisi awan atau radiasi matahari saat pengambilan data, dikarenakan pada setiap kondisi memiliki titik daya yang berbeda-beda setiap saat.

4.3.3 Radiasi yang Menimpa Panel Surya Akibat Penambahan *Reflektor*.

Besarnya radiasi yang diterima oleh panel surya pada dasarnya diperoleh langsung dari matahari, namun dengan adanya *reflektor* cermin datar pada sisi-

sisinya memaksa panel surya untuk mendapatkan Intensitas radiasi matahari yang lebih banyak dari semestinya. Karena sifat dari cermin sendiri adalah sebagai alat untuk memancarkan atau memantulkan radiasi dari sinar matahari ke panel surya. Untuk itu dengan adanya penambahan *reflector*, radiasi yang dipantulkan oleh *reflector* ke panel surya dapat dihitung dengan beberapa persamaan. Pada penelitian ini untuk sudut 87^0 yang dibentuk pada pukul 07.30 WIB, radiasi matahari yang diterima panel surya dapat dicari dengan beberapa cara, sebagai berikut (penelitian di lakukan pada tanggal 28 Januari 2016) :

a. Menentukan radiasi *ekstraterrestrial* pada bidang horisontal

$$\begin{aligned} G_0 &= G_{SC} \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \right) \right] (\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta) \\ &= 1353 \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360}{365} \right) \right] (\cos 8,1 \cdot \cos -18,548 \cdot \cos -67,5 + \sin 8,1 \cdot \sin -18,548) \\ &= 1353 (1 + 0,033 \cos 0,986) (0,990 \times 0,948 \times 0,383 + 0,141 \times 0,318) \\ &= 439,373 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

b. Menentukan radiasi matahari

$$\begin{aligned} G &= J = I_r \\ &= 352 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

c. Menentukan *indeks* kecerahan langit

$$\begin{aligned} k_T &= \frac{G}{G_0} \\ &= \frac{352}{439,373} \\ &= 0,80 \end{aligned}$$

d. Menentukan radiasi hambur (*diffuse*)

Untuk : $0,22 \leq k_T \leq 0,80$

Maka dapat dihitung ,

$$\begin{aligned} G_d &= G.(0,9511 - 0,1604k_T + 4,388k_T^2 - 16,638k_T^3 + 12,336k_T^4) \\ &= 352 (0,9511 - 0,1604(0,8) + 4,388(0,8)^2 - 16,638(0,8)^3 + 12,336(0,8)^4) \\ &= 58,252 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

e. Menentukan radiasi langsung (*Beam*)

$$\begin{aligned} G_b &= G - G_d \\ &= (352 - 58,252) \\ &= 293,748 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

f. Menentukan factor geometri *reflector* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{br} &= \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_z} \\ &= \frac{\cos 89,054}{\cos 71,677} \\ &= \frac{0,017}{0,314} \\ &= 0,053 \end{aligned}$$

Dari hasil data perhitungan data tersebut dapat dihitung radiasi masukan akibat penambahan *reflector* sebagai berikut

$$\begin{aligned} GT &= G_b . R_{br} . AR_r . \rho_r \\ &= 293,748 . 0,053 . 1 . 0,85 \\ &= 13,119 \text{ W/m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan komponen radiasi masukan sistem untuk selanjutnya disajikan dalam tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Hasil perhitungan komponen radiasi masukan sistem

Waktu WIB	G W/m ²	G _o W/m ²	Cos ω	KT	G _d W/m ²	G _b W/m ²	R _{br}	GT W/m ²
7.30	352	439,373	0,383	0,801	58,252	293,748	0,053	13,119
08.00	414	593,272	0,500	0,698	102,415	311,585	0,176	46,564
08.30	529	735,949	0,609	0,719	114,782	414,218	0,211	74,254
09.00	538	864,961	0,707	0,622	210,700	327,300	0,315	87,744
09.30	632	978,102	0,793	0,646	215,724	416,276	0,417	147,660
10.00	605	1073,435	0,866	0,564	314,944	290,056	0,433	106,771
10.30	815	1149,330	0,924	0,709	187,734	627,266	0,464	247,618
11.00	724	1204,487	0,966	0,601	316,449	407,551	0,616	213,532
11.30	800	1237,964	0,991	0,646	272,951	527,049	0,666	298,290
12.00	416	1249,187	1,000	0,333	383,371	32,629	0,682	18,915
12.30	392	1237,964	0,991	0,317	366,933	25,067	0,633	13,497
13.00	321	1204,487	0,966	0,267	310,506	10,494	0,674	6,015
13.30	500	1149,330	0,924	0,435	391,883	108,117	0,570	52,338
14.00	580	1073,435	0,866	0,540	331,972	248,028	0,685	144,477
14.30	440	978,102	0,793	0,450	333,290	106,710	0,732	66,376

Pada tabel 4.4 dapat diketahui bahwa nilai radiasi yang masuk pada sistem terbesar pada pukul 11.30 WIB sebesar 298,290 W/m², yang nilainya dipengaruhi oleh banyaknya radiasi matahari yang dipancarkan dengan besar 800 W/m². Besar energi radiasi langsung atau *beam* dipengaruhi oleh besar kecilnya radiasi matahari yang dipancarkan oleh matahari, semakin besar nilai energi radiasi matahari yang dipancarkan maka semakin besar nilai energi radiasi langsung yang diterima oleh panel surya. Namun berbeda dengan pengaruh radiasi *ekstraterrestrial* terhadap *beam*, semakin besar nilai radiasi *ekstraterrestrial* maka semakin kecil nilai energi radiasi langsung atau *beam*.

4.4 Hasil Pengambilan Data

4.4.1 Pengambilan Data Sampel per-30 menit.

Pada penelitian optimasi teknologi sistem *scanning* dengan *reflektor* cermin datar ini telah dilakukan pengujian pada dua buah kondisi dengan dua buah modul panel surya dengan karakteristik yang sama. Modul panel A adalah modul panel surya dengan teknologi *scanning reflektor* dan modul panel surya B adalah modul panel surya tanpa menggunakan *reflektor*. Dari penelitian ini tujuan utamanya

untuk mengetahui nilai efisiensi daya dan kelayakan energi pada penggunaan teknologi *scanning reflektor*. Pengujian dilakukan pada tanggal 28 Januari 2016 dengan waktu uji dari pukul 07.00 WIB sampai dengan pukul 14.30 WIB dengan selang waktu *scanning* 30 menit. Pada pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan sebuah *datalogger* dengan tujuan dapat mengetahui nilai daya yang dihasilkan panel surya secara kontinyu.

Hasil dari pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan meliputi beberapa pengambilan data yaitu I_{sc} , V_{oc} , intensitas cahaya matahari, analisa P_{out} dan efisiensi, seperti terlihat dalam tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Pengukuran V_{oc} , I_{sc} dan analisis P_{out} dan η .

Waktu WIB	G W/m ²	Voc A Volt	Voc B Volt	Isc A A	Isc B A	Daya A Watt	Daya B Watt	Pin Watt	η A %	η B %
07.30	352	19,59	19,29	1,7	1,24	23,827	17,113	106,445	22,384	16,077
08.00	414	19,16	18,98	2,43	1,5	33,311	20,369	125,194	26,608	16,270
08.30	529	18,61	18,69	2,72	1,92	36,216	25,674	159,970	22,639	16,049
09.00	538	18,63	18,65	2,75	1,82	36,655	24,285	162,691	22,530	14,927
09.30	632	18,77	18,81	3,37	2,15	45,256	28,934	191,117	23,680	15,139
10.00	605	18,79	18,79	2,82	1,82	37,910	24,467	182,952	20,721	13,373
10.30	815	18,54	18,65	3,73	2,38	49,477	31,757	246,456	20,075	12,885
11.00	724	19	18,91	2,53	1,76	34,392	23,812	218,938	15,709	10,876
11.30	800	19,11	19,07	3,58	2,35	48,947	32,063	241,920	20,233	13,254
12.00	416	18,72	18,79	2,39	1,69	32,010	22,719	125,798	25,445	18,060
12.30	392	18,1	18,17	1,7	1,34	22,015	17,420	118,541	18,572	14,695
13.00	321	19,16	19	1,96	1,14	26,868	15,497	97,070	27,679	15,965
13.30	500	19,07	18,93	1,45	1,24	19,783	16,794	151,200	13,084	11,107
14.00	580	19,53	19,45	1,7	1,43	23,754	19,899	175,392	13,543	11,345
14.30	440	18,74	18,69	1,59	1,34	21,318	17,918	133,056	16,022	13,467

Keterangan:

A = Modul panel surya dengan perlakuan dengan penambahan teknologi *scanning reflektor*

B = Modul panel surya dengan perlakuan perlakuan tanpa menggunakan *reflektor*

4.4.2 Analisis Data Pengujian

Pada tabel 4.5 merupakan hasil pengujian data dengan mengambil data sampel per-30 menit, data ini dimaksudkan agar mendapatkan nilai yang *valid* pada suatu waktu dengan radiasi matahari dan suhu permukaan panel surya yang berubah-ubah. Pada tabel 4.5 pengambilan data Voc, Isc, Intensitas energi cahaya matahari dan suhu permukaan panel surya dilakukan secara bersama-sama pada waktu yang sama. Nilai intensitas energi matahari diambil dengan menggunakan alat *solari meter* dan nilai suhu diambil dengan menggunakan dua buah termometer suhu. Sehingga dengan demikian akan didapatkan data yang lebih *valid*.

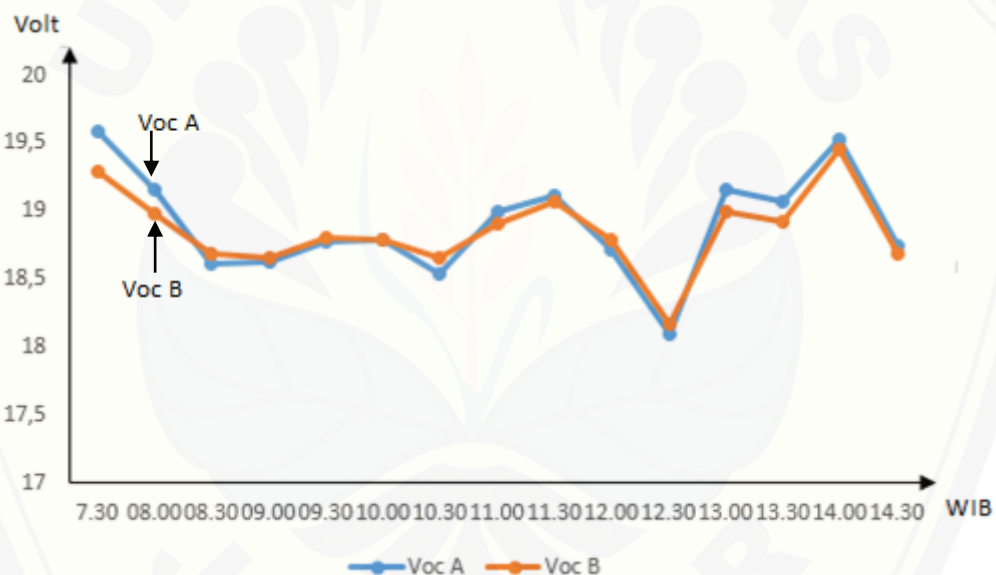
Dari hasil data pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5 pengujian pada pagi hari pukul 07.30 WIB dengan perlakuan menggunakan *scanning reflector* yang bergerak menurut titik daya optimum pada kondisi waktu tertentu. Sehingga dihasilkan tegangan Voc modul panel surya sebesar 19,59 volt sedangkan arus yang dihasilkan sebesar 1,7 ampere. Sedangkan pada pengujian dengan perlakuan tanpa *reflector* dihasilkan tegangan sebesar 19,29 volt dan besar nilai arusnya sebesar 1,24 ampere. Dapat dilihat dari hasil data tersebut terjadi peningkatan tegangan sebesar 0,30 volt dengan penambahan *reflector* yang digerakkan pada sisi timur dan barat. Sedangkan arus mengalami peningkatan sebesar 0,36 ampere dengan penambahan *reflector* yang digerakkan. Daya yang dihasilkan pada panel surya dengan *scanning reflektor* sebesar 23,857 watt dan tanpa menggunakan *reflektor* sebesar 17,113 watt, dari data tersebut dapat dilihat bahwa dengan adanya *scanning reflektor* terjadi peningkatan 6,307 watt.

Pada data diatas nilai *Pin* diperoleh dari hasil perkalian antara luas modul panel surya dengan besar nilai radiasi matahari yang dipancarkan oleh matahari. Diketahui pada pukul 07.30 WIB nilai radiasi matahari sebesar 352 W/m^2 dan nilai luas penampang panel surya sebesar $0,3024 \text{ m}^2$. Sehingga didapat besar nilai daya *input* (*Pin*) sebesar 106,445 watt. Besar daya *output* yang dihasilkan oleh panel surya dapat diperoleh dari hasil perkalian tegangan keluaran (Voc), arus (Isc) dengan *fill factor* (FF). Nilai *fill factor* (FF) didapatkan dengan cara $(V_m \times I_m) : (V_{oc} \times I_{sc})$. Nilai *fill factor* yang diperoleh dari pengujian ini sama pada setiap

kondisi yakni 0,715456 , sehingga diperoleh daya *output* panel surya 23,827 watt untuk data hasil pengujian dengan *scanning reflektor*.

Dari data tabel 4.5 dapat diketahui bahwa dengan memanfaatkan teknologi *scanning reflektor* pada modul panel surya dapat meningkatkan nilai efisiensi daya jika dibandingkan tanpa menggunakan *reflektor*. Secara keseluruhan dapat kita ketahui nilai selisih rata-rata efisiensi kedua modul panel surya ini adalah 6,362 %.

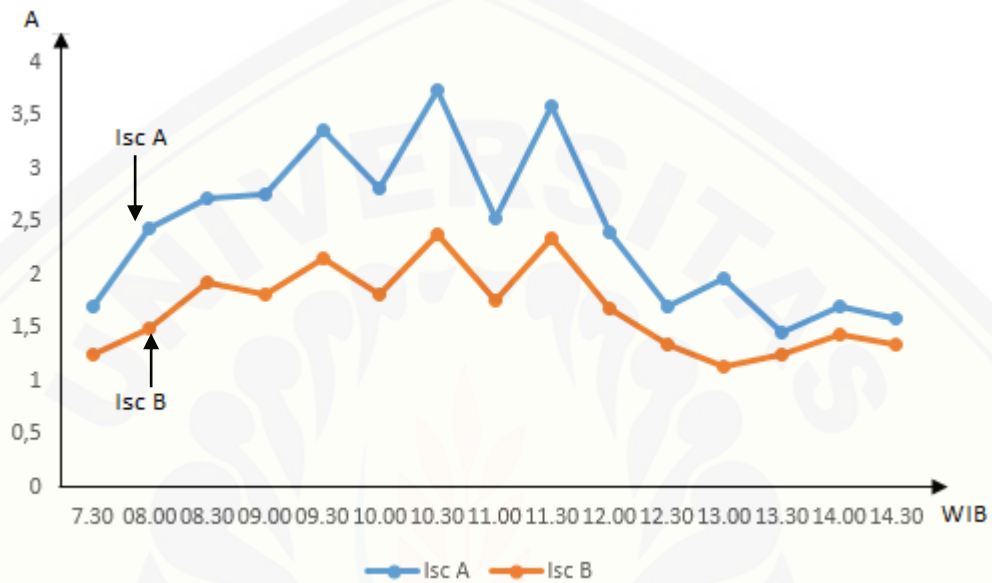
Pada penelitian ini akan disajikan grafik perbandingan nilai Voc , Isc dan daya yang dihasilkan oleh panel surya, berikut adalah grafik perbandingan nilai Voc, Isc dan daya yang dihasilkan akibat adanya teknologi *scanning reflektor*:



Gambar 4.8 Perbandingan nilai Voc hasil pengujian

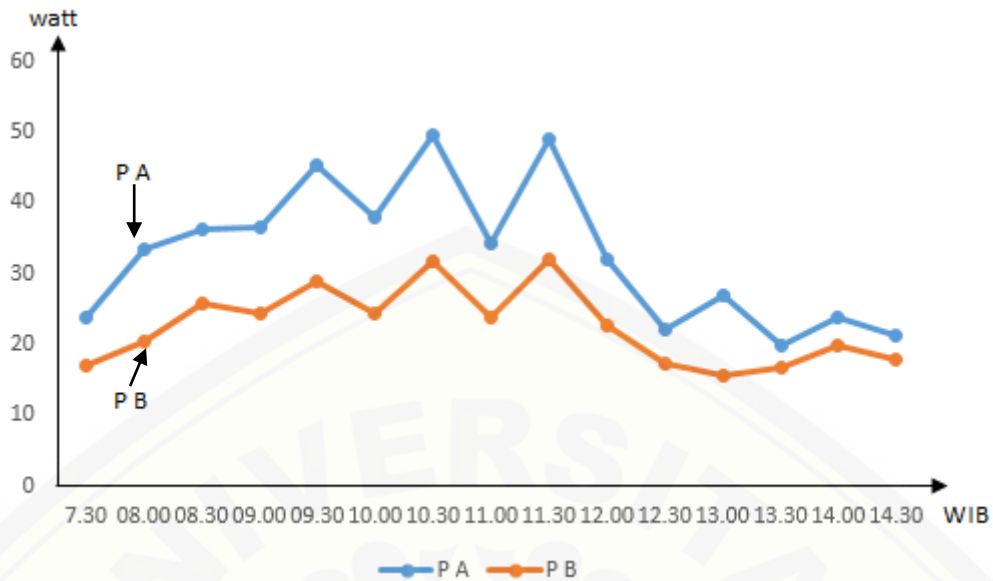
Dari gambar 4.8 dapat disimpulkan pengaruh penambahan *reflektor* terhadap perubahan tegangan Voc pada kedua buah panel surya hanya memiliki pengaruh yang kecil. Hal ini karena penambahan *reflektor* hanya mempengaruhi tingkat nilai Intensitas radiasi matahari yang jatuh pada panel surya yang berpengaruh terhadap nilai arus yang dihasilkan. Namun pada gambar 4.8 terlihat bahwa penambahan *reflektor* hanya akan mempengaruhi sedikit bahkan memberikan dampak turunya nilai tegangan Voc. Hal ini karena pada dasarnya penambahan *reflektor* cermin datar sangat mempengaruhi perubahan suhu yang ada

di permukaan panel surya, semakin besar nilai radiasi yang difokuskan pada suatu titik maka semakin besar nilai radiasi dan suhu yang diterima. Hal ini bisa kita lihat pada penggunaan cermin cekung yang dapat digunakan untuk memfokuskan cahaya matahari, sehingga timbul energi panas yang tidak normal pada titik fokusnya.



Gambar 4.9 Perbandingan Isc hasil pengujian

Dari gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan *reflektor* terhadap perubahan arus sangatlah signifikan. Hal itu dibuktikan dari perbandingan selisih arus *Isc* yang dihasilkan dari kedua buah panel surya yang sangat besar. Hal ini dikarenakan penambahan cermin datar sebagai *reflektor* pada panel surya memberikan efek terhadap bertambahnya radiasi yang diterima oleh permukaan panel surya. Semakin besar nilai radiasi yang diterima panel surya dari matahari maka semakin besar nilai *Isc* atau arus *short circuit* yang dihasilkan.



Gambar 4.10 Perbandingan daya yang dihasilkan dalam pengujian

Pada gambar 4.10 dapat dijelaskan bahwa pengaruh penambahan *reflektor* terhadap daya yang dihasilkan oleh panel surya sangat signifikan. Semakin besar nilai radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya dari matahari, maka semakin besar nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya dan sebaliknya. Pada dasarnya pengaruh daya atau perubahan daya ini dipengaruhi oleh besarnya arus yang dihasilkan, karena hubungan daya yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya.

4.5 Pengaruh Suhu Terhadap Perform Modul Panel Surya

Perubahan suhu akan mempengaruhi kinerja panel surya, sehingga suhu merupakan salah satu faktor utama yang dapat menunjang kerja modul panel surya untuk mendapatkan daya yang optimal, karena karakteristik modul panel surya sendiri nilai tegangan akan berbanding lurus dengan nilai besarnya suhu. Pada grafik 4.5 telah sedikit disinggung mengenai pengaruh suhu terhadap nilai tegangan pada panel surya. Berikut adalah tabel hubungan suhu terhadap perubahan nilai tegangan pada kedua panel surya yang disajikan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengaruh nilai tegangan Voc terhadap perubahan suhu

Time WIB	Ir (W/m ²)	Suhu A °C	Suhu B °C	Voc A Volt	Voc B Volt
07.30	352	40	40	19,59	19,29
08.00	414	42	41	19,16	18,98
08.30	529	46	44	18,61	18,69
09.00	538	45	40	18,63	18,65
09.30	632	54	47	18,77	18,81
10.00	605	54	49	18,79	18,79
11.00	724	52	52	19	18,91
11.30	800	50	51	19,11	19,07
12.00	416	47	46	18,72	18,79
12.30	392	48	46	18,1	18,17
13.00	321	48	47	19,16	19
13.30	500	44	44	19,07	18,93
14.00	580	50	50	19,53	19,45
14.30	440	44	44	18,74	18,69

Dari tabel 4.6 di atas dapat diketahui pengaruh suhu terhadap nilai tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Pada pukul 07.30 kedua panel surya memiliki suhu yang sama sehingga tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan *reflektor* cermin akan lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *reflektor*. Namun ketika suhu modul panel surya dengan menggunakan *reflektor* lebih besar daripada suhu panel surya tanpa *reflektor* maka nilai tegangan Voc pada modul panel surya tanpa *reflektor* akan lebih besar daripada yang menggunakan *reflektor*. Hal itu bisa terlihat dengan jelas pada pukul 08.30 WIB suhu panel surya dengan *reflektor* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada modul panel surya tanpa *reflektor*.

4.6 Analisis Efisiensi Daya Panel Surya

Tingkat keandalan modul panel surya dapat dilihat dari nilai efisiensi yang dihasilkan. Nilai efisiensi pada modul panel surya merupakan nilai daya *output* dibagi dengan nilai daya *input* yang kemudian dinyatakan dalam satuan *persent*.

Pada penelitian ini akan dibandingkan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh penelitian sebelumnya dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sekarang. Untuk mengetahui keandalan penggunaan teknologi ini, akan disajikan tabel 4.7 hasil

pengujian penelitian sebelumnya yang berjudul “Optimalisasi Sudut Cermin Datar Sebagai *Reflector* Panel Surya Polikristal Penjejak Matahari’ :

Tabel 4.7 Hasil pengujian penelitian sebelumnya “Optimalisasi Sudut Cermin Datar Sebagai *Reflector* Panel Surya Polikristal Penjejak Matahari”

Waktu WIB	G W/m ²	Voc A Volt	Voc B Volt	Isc A A	Isc B A	Daya A Watt	Daya B Watt	Pin Watt	η A %	η B %
09.00	102,9	19,02	18,56	2,62	2,48	36,94	34,12	104,3	35,4	32,7
09.30	119,9	18,85	18,59	2,54	2,49	35,49	34,31	121,6	29,2	28,2
10.00	127,2	19,08	18,73	2,82	2,78	39,88	38,59	129,0	30,9	29,9
10.30	140,2	19,27	18,98	2,91	2,81	41,56	39,53	142,2	29,2	27,8
11.00	145,4	19,13	18,87	2,89	2,8	40,98	39,16	147,4	27,8	26,6
11.30	145,2	19,18	18,8	2,86	2,75	40,66	38,32	147,2	27,6	26,0
12.00	148,2	19,17	18,82	2,85	2,77	40,50	38,64	150,3	26,9	25,7
12.30	152,2	19,19	18,86	2,79	2,75	39,68	38,44	154,3	25,7	24,9
13.00	149,1	19,31	19,02	2,64	2,47	37,79	34,82	151,2	25,0	23,0
13.30	133,2	19,12	18,81	2,48	2,25	35,15	31,37	135,1	26,0	23,2
14.00	126,0	19,26	18,98	2,32	2,09	33,12	29,40	127,8	25,9	23,0
14.30	118,4	19,04	18,89	2,25	1,97	31,75	27,58	120,1	26,4	23,0
15.00	109,3	18,96	18,88	1,96	1,82	27,54	25,47	110,8	24,9	23,0
15.30	106,6	18,94	18,88	1,78	1,68	24,99	23,51	108,1	23,1	21,7
16.00	102,7	18,78	18,49	1,71	1,8	23,80	24,67	104,1	22,9	23,7

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dibandingkan dengan menggunakan data hasil penelitian sebelumnya bahwa nilai efisiensi yang didapat dari perbandingan penggunaan panel surya menggunakan *reflektor* dan tanpa menggunakan *reflektor* pada waktu dan radiasi matahari yang sama kurang begitu bagus jika dibandingkan dengan hasil penelitian dengan menggunakan *scanning reflektor*. Hal ini bisa dilihat dengan jelas dari selisih rata-rata nilai efisiensi daya panel surya ber-*reflektor* dan panel surya tanpa *reflektor*, pada penelitian sebelumnya selisih rata-rata hanya sekisar 1,740 % sedangkan pada penelitian ini selisih nilai efisiensi daya yang dihasilkan sebesar 6,362 %.

4.7 Pengaruh Kerja Panel Surya pada Hari Berawan

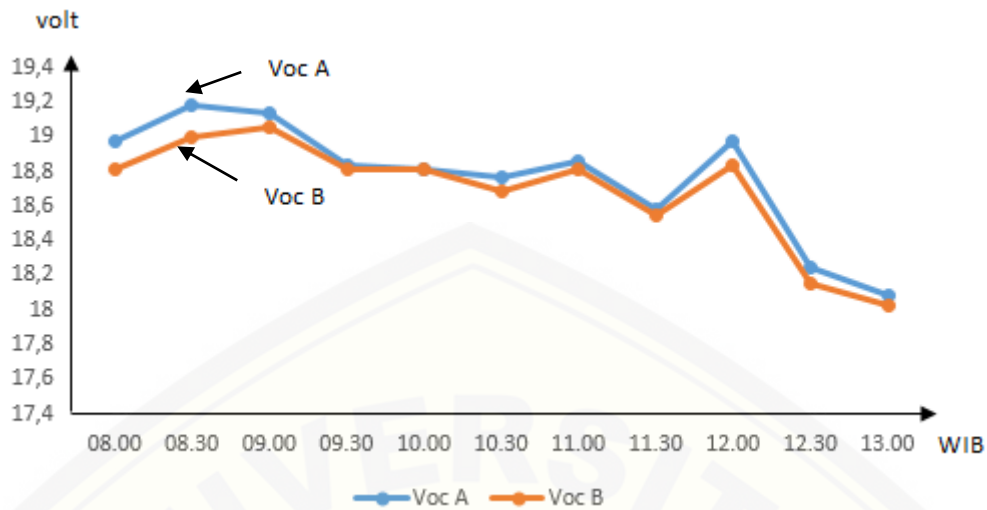
Pada pengujian alat teknologi *scanning reflektor* selain dilakukan pengujian pada hari terang, juga dilakukan pengujian alat pada hari berawan sepanjang hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kerja modul panel surya dan nilai efisiensi yang dihasilkan dengan menggunakan teknologi *scanning reflektor*

daripada modul panel surya tanpa menggunakan *reflektor*. Berikut adalah data hasil pengujian pada hari berawan sepanjang hari yang disajikan pada tabel 4.8:

Tabel 4.8 Pengujian alat ketika keadaan hari berawan

Waktu WIB	Ir W/m ²	Voc A Volt	Voc B Volt	Isc A A	Isc B A	P out A Watt	P out B Watt	η A %	η B %
08.00	190	18,97	18,81	0,76	0,59	10,315	7,94	17,953	13,819
08.30	283	19,18	19	1,41	0,94	19,349	12,778	22,609	14,931
09.00	379	19,14	19,05	1,74	1,21	23,827	16,492	20,790	14,390
09.30	548	18,84	18,81	2,93	1,92	39,494	25,839	23,832	15,592
10.00	503	18,81	18,81	2,24	1,6	30,145	21,532	19,818	14,156
10.30	386	18,77	18,69	1,63	1,24	21,889	16,581	18,752	14,205
11.00	352	18,86	18,81	1,38	1,11	18,621	14,938	17,494	14,034
11.30	515	18,58	18,55	2,1	1,56	27,916	20,704	17,925	13,294
12.00	342	18,97	18,84	1,85	1,3	25,109	17,523	24,278	16,943
12.30	233	18,24	18,15	0,94	0,75	12,267	9,739	17,410	13,822
13.00	123	18,08	18,03	0,47	0,39	6,08	5,031	16,346	13,526

Pada tabel 4.8 diketahui bahwa ketika kondisi berawan sepanjang hari selisih rata-rata nilai efisiensi daya pada panel surya ber-*reflektor* mempunyai nilai yang lebih rendah daripada saat pengujian pada hari cerah yakni sebesar 5,318 %. Namun untuk nilai efisiensi daya dan daya *output* antara panel surya ber-*reflektor* mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada panel surya tanpa *reflektor*. Berbeda dengan nilai tegangan Voc yang diperoleh dari pengujian hari cerah, nilai tegangan Voc pada pengujian kondisi berawan sepanjang hari memiliki tegangan yang *stabil*, besar nilai tegangan Voc dengan menggunakan *reflektor* lebih besar dibandingkan dengan tanpa *reflektor*. Hal ini dipengaruhi oleh suhu pada permukaan panel surya yang begitu tinggi. Berikut adalah grafik tegangan Voc akibat pengaruh penggunaan *reflektor* pada kondisi hari berawan sepanjang hari, yang disajikan pada gambar 4.11 :



Gambar 4.11 Perbandingan nilai tegangan Voc pada hari berawan sepanjang hari.

Tabel 4.9 Perbandingan sudut Reflektor hari cerah dan hari berawan

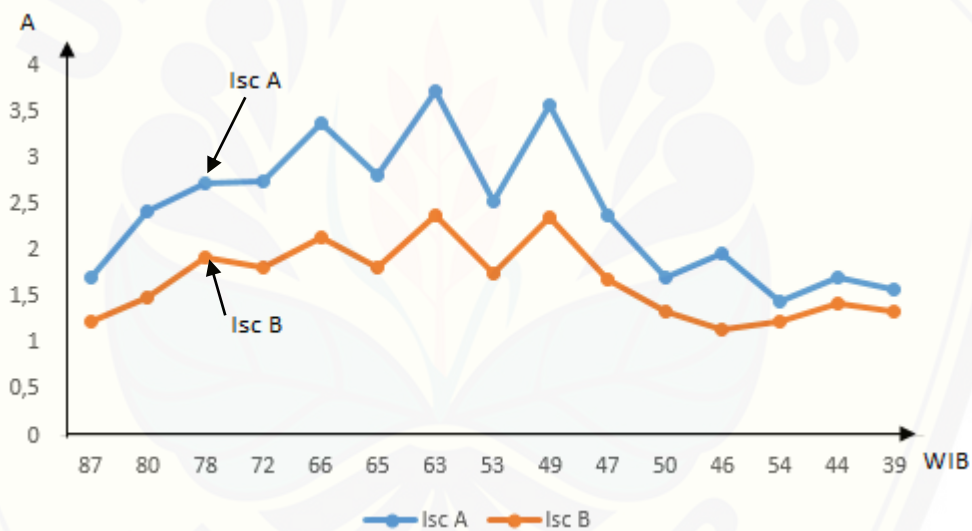
Time WIB	Ω	β_r A	β_r B
		Bright sky	Cloudy sky
08.00	-60	80	84
08.30	-52,5	78	83
09.00	-45	72	78
9.30	-37,5	66	78
10.00	-30	65	76
10.30	-22,5	63	74
11.00	-15	53	69
11.30	-7,5	49	67
12.00	0	47	63
12.30	7,5	50	57
13.00	15	46	52

Pada tabel 4.9 bahwa sudut *reflektor* yang dibentuk saat pengujian hari berawan lebih linier dibandingkan dengan sudut *reflektor* yang dibentuk saat pengujian cerah. Hal ini dikarenakan kondisi pengujian hari berawan sepanjang hari, awan yang menghalangi radiasi matahari sampai ke bumi merata sepanjang hari. Berbeda dengan pengujian kondisi cerah, dimana pada saat tertentu yakni ketika pukul 12.30 kondisi awan tidak stabil. Jadi dapat disimpulkan bahwa sudut reflektor tidak akan selalu linier bergantung dengan sudut matahari, dikarenakan

sudut reflektor hanya akan berpengaruh pada daya yang optimum pada suatu titik tertentu.

4.8 Hubungan Arus Terhadap Sudut Reflektor

Dari data pada table 4.2 dan table 4.6 maka diperoleh grafik hubungan antara arus terhadap sudut *reflector* seperti pada grafik pada gambar 4.12 . Dari grafik tersebut arus yang dihasilkan panel surya berdasarkan sudut optimal reflector yang diperoleh dari *scanning* daya *reflektor*. Banyaknya radiasi yang dipantulkan *reflector* menyebabkan peningkatan arus pada panel surya. Dengan penambahan *reflector* disini dapat meningkatkan arus akibat adanya penambahan radiasi yang dipantulkan oleh *reflector* tersebut.



Gambar 4.12 Hubungan arus terhadap sudut *reflektor*

4.9 Kelayakan Energi Listrik

Pada penelitian ini akan meneliti kelayakan energi dengan memanfaatkan teknologi *scanning reflektor* pada modul panel surya. Dari penelitian sebelumnya pembahasan kelayakan energi listrik pada modul surya bereflektor tidak dibahas secara mendalam, dengan adanya penelitian mengenai ini, diharapkan adanya sebuah bukti bahwa alat ini dapat dikatakan layak untuk digunakan dan ditunjukkan ke masyarakat. Pengujian kelayakan energi listrik ini dilakukan dengan mencatat

hasil *output* nilai daya yang dihasilkan dengan menggunakan *data logger* selama proses pengujian. Pengujian ini menggunakan dua buah panel surya dengan dua buah perlakuan, pada perlakuan pertama modul panel surya dilengkapi dengan teknologi *scanning reflektor* dan perlakuan kedua tanpa dilengkapi *scanning reflektor*. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 28 januari 2016 dengan data pengambilan dilakukan secara bersama-sama dalam rentang waktu selama 7 jam. Berikut ini akan disajikan data rata-rata yang tercatat oleh *data logger* per 30 menit dalam tabel 4.10 :

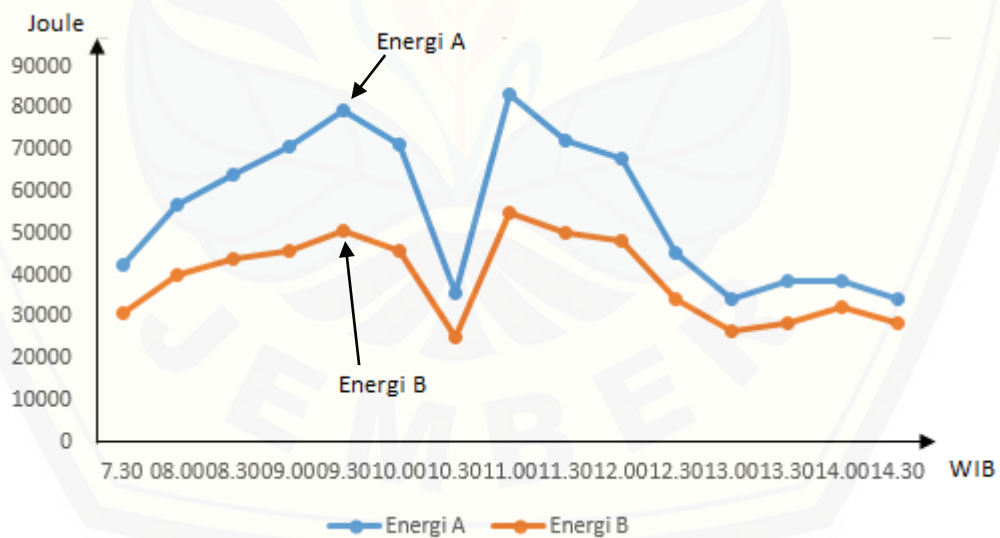
Tabel 4.10 Data daya rata-rata dan energi listrik yang dilakukan selama 30 menit.

Time	Power A	Power B	Energy A	Energy
WIB	Watt	Watt	Joule	Joule
7.30	23,483	17,199	42269,717	30958,206
08.00	31,464	22,287	56635,491	40116,413
08.30	35,698	24,339	64256,886	43809,691
09.00	39,235	25,516	70622,966	45929,367
09.30	44,113	28,229	79402,652	50812,343
10.00	39,731	25,472	71516,359	45849,513
10.30	19,874	13,912	35773,379	25041,873
11.00	46,233	30,435	83218,971	54782,496
11.30	40,200	27,815	72359,455	50067,457
12.00	37,757	26,767	67961,899	48180,435
12.30	25,050	18,959	45090,247	34125,806
13.00	18,897	14,644	34015,381	26359,617
13.30	21,492	15,712	38686,154	28280,911
14.00	21,533	17,843	38760,203	32116,970
14.30	19,021	15,831	34237,336	28496,181
	Total		834807,098	584927,278

Pada tabel 4.10 disajikan data rata-rata tegangan, arus dan daya dalam rentang waktu 30 menit. Dari data diatas dapat diketahui bahwa daya rata – rata yang dihasilkan modul panel surya dengan menggunakan *reflektor* lebih besar dibandingkan dengan modul panel surya tanpa *reflektor*. Hal ini dapat dilihat pada pukul 07.30 WIB nilai daya modul panel surya yang menggunakan *reflektor* sebesar 23,483 watt dan daya modul panel surya tanpa *reflektor* sebesar 17,199 dengan selisih nilai daya sebesar 6,284 watt. Pada data rata-rata nilai untuk tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan *reflektor* mempunyai nilai yang

hampir sama dengan nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh panel surya tanpa *reflektor*, dengan selisih rata-rata tegangan sebesar 0,01 *volt*. Sedangkan untuk nilai rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan *reflektor* lebih besar dibandingkan dengan nilai arus rata-rata panel surya tanpa *reflektor*. Hal ini bisa dilihat pada data nilai rata-rata arus pada pukul 07.30 WIB pada modul panel surya menggunakan *reflektor* mempunyai nilai sebesar 1,716 ampere dan modul pada panel surya tanpa menggunakan *reflektor* sebesar 1,262 ampere dengan besar selisih 0,455 ampere.

Energi listrik merupakan besar hasil perkalian antara nilai daya rata-rata dengan waktu / $W = P \times t$. Dari tabel 4.10 dapat diketahui nilai rata – rata energi yang dihasilkan pada rentang waktu tertentu pada penggunaan modul panel surya dengan menggunakan *reflektor* lebih besar dibandingkan dengan nilai energi listrik yang dihasilkan oleh modul panel surya tanpa *reflektor*. Hal ini bisa dilihat dengan lebih jelas pada grafik gambar 4.13 :

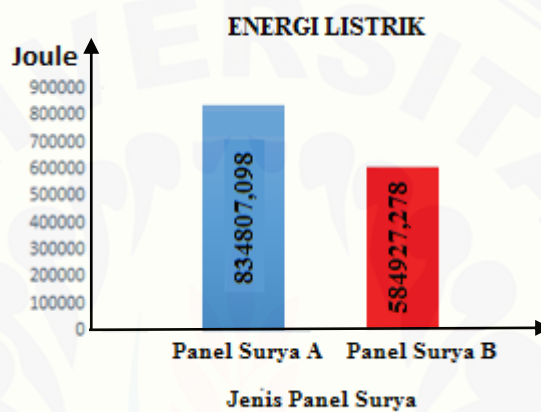


Gambar 4.13 Energi listrik hasil pengujian 2 buah panel

Pada gambar 4.13 dapat terlihat, secara jelas perbandingan energi yang dihasilkan modul panel surya dengan menggunakan *reflektor* dengan modul panel surya tanpa menggunakan *reflektor*. Energi listrik yang dihasilkan oleh modul panel

surya dengan menggunakan *reflektor* lebih besar dibandingkan modul panel surya tanpa menggunakan *reflektor*.

Total energi listrik yang dihasilkan panel surya dengan menggunakan *reflektor* sebelum dikurangi rugi-rugi penggunaan sistem selama 7 jam sebesar 834.807,098 joule, sedangkan untuk energi listrik pada panel surya tanpa *reflektor* sebesar 584.927,278 Joule. Berikut adalah gambar grafik total energi listrik sebelum dikurangi energi rugi-rugi sistem tampak pada gambar 4.14 :

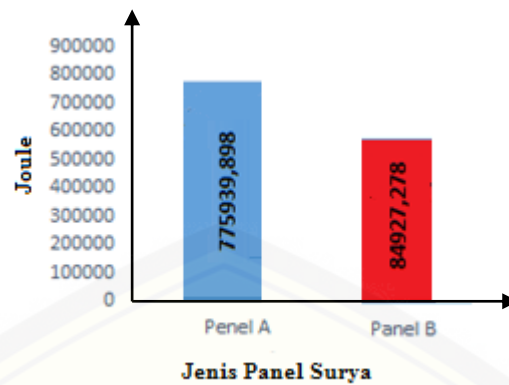


Gambar 4.14 Grafik perbandingan energi listrik sebelum dikurangi rugi-rugi sistem

Pada penelitian *scanning reflektor* ini terdapat rugi-rugi sistem yang digunakan untuk menggerakkan *motor stepper* dan sistem kontrol arduino yang menjadi suport sistem.

Pada penelitian ini penggunaan energi listrik motor *stepper* hanya digunakan ketika melakukan *scanning* daya setiap 1,5 menit setiap 30 menit sekali. Dan penggunaan energi listrik untuk kontrol sistem digunakan dalam waktu 28,5 menit setiap 30 menit sekali. Jadi energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan *reflektor* adalah jumlah total energi listrik sebelum dikurangi rugi-rugi selama 7 jam dikurangi dengan rugi-rugi energi listrik 7 jam.

Dari data total energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan *reflektor* jika dibandingkan dengan dengan total energi yang dibangkitkan oleh panel surya tanpa *reflektor* seperti tampak pada grafik gambar 4.18 berikut ini:



Gambar 4.15 Grafik perbandingan energi listrik

Dari grafik gambar 4.18 perbedaan energi yang dihasilkan oleh kedua panel surya begitu mencolok dengan selisih sebesar 191.012,62 joule.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Optimalisasi Daya dan Energi Listrik pada Panel Surya Polikristal dengan Teknologi *Scanning Reflektor*” dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Pada teknologi scanning reflektor cermin datar, reflektor hanya akan bergerak menyesuaikan perhitungan nilai daya yang paling optimum pada waktu tersebut.
2. Nilai persamaan sudut optimal pada 28 Januari 2016 diperoleh pendekatan persamaan $y = -0,4162x + 53,29$, dengan nilai persamaan ditentukan oleh kondisi pada saat itu.
3. Dengan adanya penambahan teknologi *scanning reflector* cermin datar pada panel surya menyebabkan adanya peningkatan arus dan daya dibandingkan dengan tanpa *reflector* cermin datar dengan rata – rata sebesar 0,7533 A dan 10,20 watt, dengan nilai tegangan yang dihasilkan lebih cenderung stabil atau sama.
4. Perbandingan nilai *effisiensi* dan energi listrik panel surya *scanning reflektor* dan panel surya sudut *reflektor* terhadap panel surya tanpa reflektor jauh lebih baik penggunaan panel surya dengan *reflektor*, dengan nilai rata – rata selisih efisiensi sebesar 6,362 % dan selisih nilai energi listrik sebesar 191012,62 joule

4.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang bertujuan untuk meningkatkan daya keluaran dan efisiensi panel surya yang lebih baik lagi. Selain itu penelitian ini sebaiknya menggunakan pembanding panel surya yang sama untuk menghindari nilai *error persent* nilai tegangan dan arus yang dihasilkan. Menggunakan metode kontrol fuzzy sebagai *Artificial Intelligence* (AI) untuk *scanning reflektor*. Menggunakan dc-dc converter untuk mengoptimalakan nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya.



DAFTAR PUSTAKA

Ashfahani, Adnan Syarafi dkk. 2008. Aplikasi Kontrol *Logika Fuzzy* Pada Sistem *Tracking Matahari (Sun Tracking System) Panel Photovoltaic* . Fakultas Teknik : Universitas Gadjah Mada (SNATI 2008).

Babgei, Atar Fuady. 2012. Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracker* pada Panel Surya dengan Menggunakan *Mothode Fuzzy*. Jurusan Teknik Elektro-FTI: Intisut Sepuluh November.

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*.

Handini ,Wulandari. 2008. Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristal TiO₂. Fakultas Teknik: Universitas Indonesia.

Haryadi, Yusli. 2007. Pelacak Intensitas Energi Matahari Menggunakan Sel Surya. Jurusan Teknik Komputer Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer: Universitas Komputer Indonesia Bandung.

<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> /28/09/2015/10.00 am.

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
- Priahandoko, Heru. 2014. Optimalisasi Sudut Cermin Datar Sebagai *Reflector* Panel Surya Polikristal Penjejak Matahari. Jurusan Teknik Elektro :Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Satwiko, S. 2012. “Uji Karakteristik Sel Surya Pada Sistem 24 Volt DC sebagai *Catudaya* pada Sistem Pembangkit Tenaga *Hybrid*”. Jakarta: FMIPA UNJ.
- Taufik, Azzi.2014<http://dialogsimponi.blogspot.co.id/2014/11/normal-0-false-false-false-in-x-none-x.html>
- Weller,Bernhard.dkk..2008.*Planning And Installing Photovoltaic System. Earthscan: London.*

LAMPIRAN

A. List Program

```
#include <SD.h>
const int chipSelect = 53;
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(10, 9, 8, 7, 6, 5);
#include "Wire.h"
#define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68
// Convert normal decimal numbers to binary coded decimal
byte decToBcd(byte val)
{
    return( (val/10*16) + (val%10) );
}
// Convert binary coded decimal to normal decimal numbers
byte bcdToDec(byte val)
{
    return( (val/16*10) + (val%16) );
}

//Tegangan PV
const int sensorPin1 = A0;
int sensorTeg1 ;
double p = 0.00;
float i= 0;

//Arus1
double sigma_arus = 0.00;
int data_adc_arus = 0;
int data_fix = 0;
float tegangan_adc = 0.00;
float arus =0.00;
```



```
//Tegangan BATRAI
const int sensorPin2 = A14;
float o;
float sensorTeg2 ;

//Arus2
double sigma_arus2 = 0.00;
int data_adc_arus2 = 0;
int data_fix2 = 0;
float tegangan_adc2 = 0.00;
float arus2 =0.00;

// input analog potensiometer
//SUDUT
int sudut;
int data_adc_sudut;

//Daya
float P1,P2;

//Bunyi Buszer
int bunyi = 11;

//relay
int led = 12;

//relay2,3,4
int A = 28;
int B = 23;
int C = 24;

//Tegangan PV2
const int sensorPin3 = A15;
int sensorTeg3 ;
```

```
double j = 0.00;
float v= 0;

//Arus PV2
double sigma_arus3 = 0.00;
int data_adc_arus3 = 0;
int data_fix3 = 0;
float tegangan_adc3 = 0.00;
float arus3 =0.00;

// Scanning reflektor
#define STEP_PIN 3
#define DIR_PIN 2
int h,a,c;
float n[72];
int Zmax = 0;
int X=72;

void setup(){
  //Bunyi Relay
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(A, OUTPUT);
  pinMode(B, OUTPUT);
  pinMode(C, OUTPUT);

  //Bunyi Buszer
  pinMode(bunyi, OUTPUT);
  //Stepper
  pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
  pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
  //Tampilan
```

```
Wire.begin();
Serial.begin(9600);
lcd.begin(16, 2);
// Print a message to the LCD.
//set the initial time here:
//DS3231 seconds, minutes, hours, day, date, month, year
//setDS3231time(30,42,21,4,26,11,14);
while (!Serial) {
; // wait for serial port to connect. Needed for Leonardo only
}
Serial.print("Initializing SD card...");
pinMode(53, OUTPUT);

// see if the card is present and can be initialized:
if (!SD.begin(chipSelect)) {
Serial.println("Card failed, or not present");
// don't do anything more:
return;
}
Serial.println("card initialized.");
Serial.println(" VpV VbT IpV IbT PpV PbT Sdt VpV2 IpV2");
}

void setDS3231time(byte second, byte minute, byte hour, byte dayOfWeek, byte
dayOfMonth, byte month, byte year)
{
// sets time and date data to DS3231
Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
Wire.write(0); // set next input to start at the seconds register
Wire.write(decToBcd(1)); // set seconds
Wire.write(decToBcd(58)); // set minutes
Wire.write(decToBcd(2)); // set hours
Wire.write(decToBcd(1)); // set day of week (1=Sunday, 7=Saturday)
Wire.write(decToBcd(25)); // set date (1 to 31)
```

```
Wire.write(decToBcd(1)); // set month
Wire.write(decToBcd(16)); // set year (0 to 99)
Wire.endTransmission();
}
void readDS3231time(byte *second,
byte *minute,
byte *hour,
byte *dayOfWeek,
byte *dayOfMonth,
byte *month,
byte *year)
{
Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
Wire.write(0); // set DS3231 register pointer to 00h
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(DS3231_I2C_ADDRESS, 7);
// request seven bytes of data from DS3231 starting from register 00h
*second = bcdToDec(Wire.read() & 0x7f);
*minute = bcdToDec(Wire.read());
*hour = bcdToDec(Wire.read() & 0x3f);
*dayOfWeek = bcdToDec(Wire.read());
*dayOfMonth = bcdToDec(Wire.read());
*month = bcdToDec(Wire.read());
*year = bcdToDec(Wire.read());
}
void displayTime()
{
byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
// retrieve data from DS3231
readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month,
&year);
// send it to the serial monitor
Serial.print(hour, DEC);
// convert the byte variable to a decimal number when displayed
```

```
Serial.print(":");
if (minute<10)
{
  Serial.print("0");
}
Serial.print(minute, DEC);
Serial.print(":");
if (second<10)
{
  Serial.print("0");
}
Serial.print(second, DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(dayOfMonth, DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(month, DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(year, DEC);

Serial.print(" Day of week: ");
switch(dayOfWeek){
case 1:
  Serial.println("Sunday");
  break;
case 2:
  Serial.println("Monday");
  break;
case 3:
  Serial.println("Tuesday");
  break;
case 4:
  Serial.println("Wednesday");
  break;
case 5:
```

```
Serial.println("Thursday");
break;
case 6:
Serial.println("Friday");
break;
case 7:
Serial.println("Saturday");
break;
}
}
void data()
{
//Tegangan PV
p=0;
for(int i = 0; i < 1000; i++){
sensorTeg1= analogRead(sensorPin1);
p=p+sensorTeg1;
}
i=p/1000;
i=(sensorTeg1/1023.0)*23.5;
//Arus PV
sigma_arus = 0;
for(int i = 0; i < 1000; i++){
data_adc_arus = analogRead(A8);
sigma_arus = sigma_arus + data_adc_arus;
}
data_fix = sigma_arus/1000;
data_fix = abs(data_fix-509);
tegangan_adc = ((float)data_fix/1023.00)*5000;
arus = tegangan_adc/135;

//Tegangan Batrai
sensorTeg2= analogRead(sensorPin2);
o = (sensorTeg2/1023.0)*25.55;
```

```
//Arus2
sigma_arus2 = 0;
for(int i = 0; i < 1000; i++){
data_adc_arus2 = analogRead(A2);
sigma_arus2 = sigma_arus2 + data_adc_arus2;
}
data_fix2 = sigma_arus2/1000;
tegangan_adc2 = (data_fix2 / 1023.0)*5000;
arus2 = ((tegangan_adc2 - 2531)/120);

//Sudut
data_adc_sudut = analogRead(A6);
sudut=(data_adc_sudut/4.122);

// DAYA INPUT
P1=arus*i;
P2=arus2*o;

//Tegangan PV2
j=0;
for(int i = 0; i < 1000; i++){
sensorTeg3= analogRead(sensorPin3);
j=j+sensorTeg3;
}
v=j/1000;
v=(sensorTeg3/1023.0)*24.3;

//Arus PV2
sigma_arus3 = 0;
for(int i = 0; i < 1000; i++){
data_adc_arus3 = analogRead(A13);
sigma_arus3 = sigma_arus3 + data_adc_arus3;
}
```

```
data_fix3 = sigma_arus3/1000;
data_fix3 = abs(data_fix3-509);
tegangan_adc3 = ((float)data_fix3/1023.00)*5000;
arus3 = tegangan_adc3/150;
```

```
File datalog = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
```

```
if (datalog) {
  datalog.println(" ");
  datalog.print(i,2);
  datalog.print(" ");
  datalog.print(v,2);
  datalog.print(" ");
  datalog.print(o,2);
  datalog.print(" ");
  datalog.print("0.00");
  datalog.print(" ");
  datalog.print("0.00");
  datalog.print(" ");
  datalog.print("0.00");
  datalog.print(" ");
  datalog.print("0.00");
  datalog.print(" ");
  datalog.print(sudut);
  datalog.print(" ");
  datalog.print(" ");
```

```
  byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
  // retrieve data from DS3231
  readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month,
  &year);
  datalog.print(hour, DEC);
  // convert the byte variable to a decimal number when displayed
  datalog.print(":");
```



```
if (minute<10)
{
  datalog.print("0");
}
datalog.print(minute, DEC);
datalog.print(":");
if (second<10)
{
  datalog.print("0");
}
datalog.print(second, DEC);
datalog.print(" ");
datalog.print(dayOfMonth, DEC);
datalog.print("/");
datalog.print(month, DEC);
datalog.print("/");
datalog.print(year, DEC);
datalog.print(" ");
datalog.close();
// print to the serial port too:
Serial.print(" ");
Serial.print(i,2);
Serial.print(" ");
Serial.print(v,2);
Serial.print(" ");
Serial.print(o,2);
Serial.print(" ");
Serial.print(arus,2);
Serial.print(" ");
Serial.print(arus3,2);
Serial.print(" ");
Serial.print(arus2,2);
Serial.print(" ");
Serial.print(P1,1);
```

```
Serial.print(" ");
Serial.print(sudut);
Serial.print(" ");
  displayTime();
  delay(25); // every second
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" WAKTU TUNGGU ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(10, 1);
  lcd.print(second);
  lcd.setCursor(9, 1);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(7, 1);
  lcd.print(minute);
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print(hour);
  delay(800);
}

{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Vpv /Vpv2 SUDUT");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(i);
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print("/");
  lcd.setCursor(5, 1);
  lcd.print(v);
```

```
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(sudut);
delay(500);
}

}
else {
Serial.println("error datalog.txt");
}
}

void tanda(){
for ( a=1 ; a<=5 ; a++){
digitalWrite(bunyi, HIGH);
delay(100);
digitalWrite(bunyi, LOW);
delay(100); }
}

void tanda2(){
for ( a=1 ; a<=1 ; a++){
digitalWrite(bunyi, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(bunyi, LOW);
delay(1000); }
}

//relay batrai

void loop()
{
digitalWrite(A, HIGH);
digitalWrite(B, LOW);
digitalWrite(C, LOW);
tanda();
```

```
for ( a=1 ; a<=X ; a++){
}
Serial.println("scanning");
for ( a=1 ; a<=X ; a++){
  relay();
  rotateDeg(19.8, 0.05);
  data2();
  n[a]=i*arus;
  delay (1);
}

for ( a=1; a <= X ; a++){
  if (n[a] > n[Zmax])
  {
    Zmax = a;}
  }
  X = X - Zmax;
  Serial.println("menuju titik");
  tanda2();
  for (c=1; c <= X; c++){
    relay();
    rotateDeg(-19.8, 0.04);
    data2();
    delay (1);
  }
  Serial.println("menunggu");
  digitalWrite(A, LOW);
  for (int d= 1; d <=20; d++)
  {
    digitalWrite(B, LOW);
    digitalWrite(C, LOW);
    delay(500);
    for (int a=1 ;a<=28;a++){
      data();
```

```
delay(1000);
}
digitalWrite(B, HIGH);
digitalWrite(C, HIGH);
delay(1500);
data3();

}
}
void rotateDeg(float deg, float speed){
//rotate a specific number of degrees (negative for reverse movement)
//speed is any number from .01 -> 1 with 1 being fastest - Slower is stronger
int dir = (deg > 0)? HIGH:LOW;
digitalWrite(DIR_PIN,dir);

int steps = abs(deg)*(1/0.225);
float usDelay = (1/speed) * 70;

for(int i=0; i < steps; i++){
digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(usDelay);

digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
delayMicroseconds(usDelay);
}
}
```

B. Perhitungan Energi Listrik

$$\begin{aligned}\text{Daya rugi-rugi sistem dengan motor} &= V \text{ rugi-rugi} \times I \text{ rugi-rugi sistem} \\ &= 11 \text{ volt} \times 0,41 \text{ Ampere} \\ &= 4,92 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rugi- rugi energi listrik (Wm)} &= Prugi \times t \\ &= 4,92 \times 90 \text{ s} \\ &= 442,8 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Daya rugi-rugi sistem tanpa motor} &= V \text{ rugi-rugi} \times I \text{ rugi-rugi sistem} \\ &= 11 \text{ volt} \times 0,2 \text{ Ampere} \\ &= 2,2 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rugi- rugi energi listrik (Ws)} &= Prugi \times t \\ &= 2,2 \times (58,5 \times 60) \text{ s} \\ &= 3762 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total rugi-rugi energi listrik per 30 menit} &= Wm + Ws \\ &= 442,8 + 3762 \\ &= 4204,8 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\text{Total rugi-rugi energi listrik 7 jam} = 4204,8 \times 14 = 58.867,2 \text{ Joule}$$

C. Data Penelitian Sebelumnya

Judul Penelitian : “Optimalisasi Sudut Cermin Datar Sebagai *Reflector* Panel

Surya Polikristal Penjejak Matahari” (Prihandoko, 2014)

Tabel C.1 Pengukuran Isc, Voc, analisis Pout dan η

Jam	Voc (volt)		Isc (Ampere)		Pout(Watt)		Ir Watt/ m ²	Pin Watt	η (%)		Sudut Ref		Sudut jam
	A	B	A	B	A	B			A	B	T	B	
09.00	19,02	18,56	2,62	2,48	36,94	34,12	102,9	104,3	35,4	32,7	38	82	-45
09.30	18,85	18,59	2,54	2,49	35,49	34,31	119,9	121,6	29,2	28,2	43	77	-37,5
10.00	19,08	18,73	2,82	2,78	39,88	38,59	127,2	129,0	30,9	29,9	47	73	-30
10.30	19,27	18,98	2,91	2,81	41,56	39,53	140,2	142,2	29,2	27,8	52	68	-22,5
11.00	19,13	18,87	2,89	2,8	40,98	39,16	145,4	147,4	27,8	26,6	56	64	-15
11.30	19,18	18,8	2,86	2,75	40,66	38,32	145,2	147,2	27,6	26,0	59	61	-7,5
12.00	19,17	18,82	2,85	2,77	40,50	38,64	148,2	150,3	26,9	25,7	60	60	0
12.30	19,19	18,86	2,79	2,75	39,68	38,44	152,2	154,3	25,7	24,9	61	59	7,5
13.00	19,31	19,02	2,64	2,47	37,79	34,82	149,1	151,2	25,0	23,0	65	55	15
13.30	19,12	18,81	2,48	2,25	35,15	31,37	133,2	135,1	26,0	23,2	69	51	22,5
14.00	19,26	18,98	2,32	2,09	33,12	29,40	126,0	127,8	25,9	23,0	72	48	30
14.30	19,04	18,89	2,25	1,97	31,75	27,58	118,4	120,1	26,4	23,0	78	42	37,5
15.00	18,96	18,88	1,96	1,82	27,54	25,47	109,3	110,8	24,9	23,0	82	38	45
15.30	18,94	18,88	1,78	1,68	24,99	23,51	106,6	108,1	23,1	21,7	86	36	52,5
16.00	18,78	18,49	1,71	1,8	23,80	24,67	102,7	104,1	22,9	23,7	89	31	60

Keterangan:

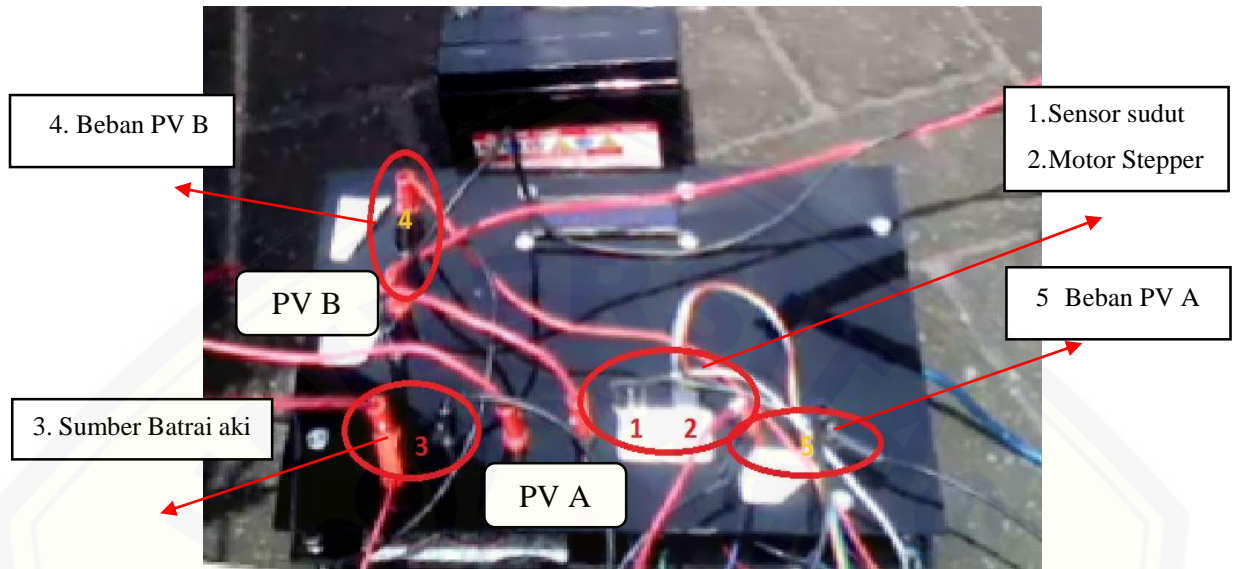
A = Perlakuan dengan penambahan *reflector* yang digerakkan

B = Perlakuan tanpa menggunakan *reflector*

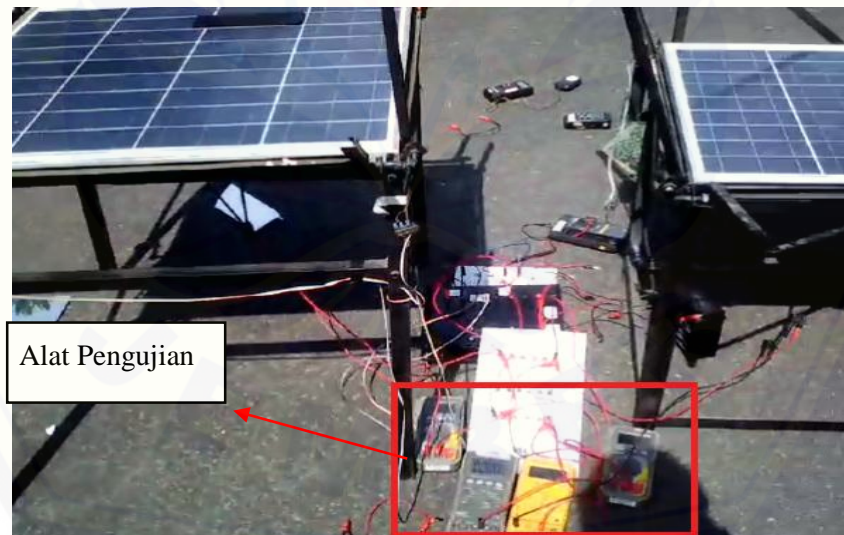
T = *Reflector* sisi timur

B = *Reflector* sisi barat

D. Foto Dokumentasi



Gamabr D.1 Alat scanning reflektor



Gambar D.2 Proses uji kelayakan panel pembandingan