



**OPTIMASI ORIENTASI DAN SUDUT KEMIRINGAN
PANEL SURYA DI GEDUNG CDAST
UNIVERSITAS JEMBER**

SKRIPSI

Oleh

**Muhamad Faisal Ali
NIM 131910201065**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**OPTIMASI ORIENTASI DAN SUDUT KEMIRINGAN
PANEL SURYA DI GEDUNG CDAST
UNIVERSITAS JEMBER**

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

Oleh

**Muhamad Faisal Ali
NIM 131910201065**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ismu dan Ibu Lasinem serta kakakku Kholison Daroini dan Ifna Hidayati atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
3. Guru – guru mulai SD Negeri 1 Karanggayam, MTs Negeri Kunir, SMK Negeri 1 Kota Blitar dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
4. Penguni kontrakan POJOK, yang selalu membantu dan menyemangati saya setiap hari.
5. Rekan-rekan satu DPU dan DPA yang selalu menemani saya berjuang mulai awal pengerjaan skripsi hingga selesai.
6. Keluarga Intel 2013 yang selalu membantu, menyemangati dan selalu mendampingi saya selama pengerjaan skripsi ini.
7. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu beberapa derajat. Dan Allah maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(QS. Al-Mujadalah: 11)

“Barangsiapa yang mempermudah urusan orang yang mengalami kesulitan, maka Allah akan mempermudah urusannya di dunia dan di akhirat”

(HR. Ibnu Majah).

“To be a good professional engineer, always start to study late for exams. Because it teaches you how to manage time and tackle emergencies.”

(Bill Gates)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Faisal Ali

NIM : 131910201065

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Optimasi Orientasi dan Sudut Kemiringan Panel Surya di Gedung CDAST Universitas Jember" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 6 Juni 2017

Yang menyatakan,

Muhamad Faisal Ali

NIM 131910201065

SKRIPSI

**OPTIMASI ORIENTASI DAN SUDUT KEMIRINGAN
PANEL SURYA DI GEDUNG CDAST
UNIVERSITAS JEMBER**

Oleh

Muhamad Faisal Ali

NIM 131910201065

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Azmi Saleh, S.T. M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T. M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Optimasi Orientasi dan Sudut Kemiringan Panel Surya di Gedung CDAST Universitas Jember" karya Muhamad Faisal Ali telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 6 Juni 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 197106141997021001

Anggota II,

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

Anggota I,

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

Anggota III,

Samsul Bachri M, S.T., M.MT.
NIP 196403171998021001

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

Optimasi Orientasi dan Sudut Kemiringan Panel Surya di Gedung CDAST Universitas Jember: Muhamad Faisal Ali, 131910201065: 2017: 104 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Akan tetapi, tidak semua sumber energi yang dimanfaatkan dapat diperbaharui sehingga suatu saat sumber energi akan habis seperti halnya energi fosil. Selain semakin berkurangnya ketersediaan energi fosil, penggunaan energi fosil juga berpengaruh besar terhadap kerusakan yang terjadi di lingkungan akibat adanya eksploitasi serta adanya gas buang dari hasil pembakaran energi fosil. Oleh karena itu, pengembangan energi alternatif terbarukan perlu dilakukan demi memenuhi kebutuhan energi saat ini.

Salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia adalah energi matahari. Potensi pembangkitan energi bersumber tenaga matahari dinilai paling potensial untuk daerah khatulistiwa karena intensitas radiasi sinar matahari yang diterima oleh bumi mencapai 1000W/m^2 . Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata $4,5\text{-}4,8\text{ KWh/m}^2/\text{hari}$.

Bangunan memiliki peranan penting dalam penggunaan panel surya. Penerapan panel surya pada atap bangunan adalah dengan mengintegrasikan panel surya pada kulit terluar bangunan seperti fasade dan atap. Pemasangan panel surya pada atap bergantung pada letak geografis suatu wilayah dimana bangunan tersebut berdiri, karena letak geografis sangat berpengaruh terhadap radiasi matahari yang diterima panel surya. Letak geografis suatu wilayah akan menentukan pemilihan jenis panel surya dan teknik pemasangan pada bangunan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk perancangan bangunan yang menggunakan panel surya antara lain, susunan dan orientasi bangunan, bentuk massa bangunan, ketinggian bangunan sekitar, modul struktur bangunan dan material bangunan.

Pada penelitian tentang optimasi orientasi dan sudut kemiringan kemiringan panel surya di gedung CDAST Universitas Jember ditujukan untuk mengetahui orientasi optimal untuk pemasangan panel surya pada atap gedung CDAST. Penelitian dilakukan dengan melakukan perubahan orientasi pada 4 arah mata angin yakni Utara, Timur, Selatan dan Barat, sedangkan untuk sudut kemiringan memiliki variasi sebesar 10°, 20° 30° 40° dan 50°. Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua jenis panel surya yang berbeda yakni *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Data yang didapatkan dari penelitian berupa data arus, tegangan, daya, suhu dan intensitas radiasi yang mana data tersebut akan langsung tersimpan pada *datalogger*. Pengujian panel surya dilakukan dengan menggunakan *dummy load* tanpa penyimpanan melalui baterai.

Dari penelitian yang telah dilakukan pada atap gedung CDAST Universitas Jember dapat diketahui bahwa orientasi dan sudut kemiringan panel surya berpengaruh terhadap performa dari panel surya. Perubahan hari dan tanggal pengujian akan berpengaruh terhadap orientasi dan sudut kemiringan panel surya pada atap gedung CDAST. Dari hasil pengujian diketahui pada tanggal 20 April 2017 orientasi dan sudut kemiringan berada pada arah utara dengan sudut 30° sedangkan pada tanggal 15 Juli 2017 orientasi dan sudut kemiringan berada pada arah utara dengan sudut 40°. Orientasi dan sudut kemiringan berpengaruh terhadap performa panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Pada orientasi utara dan sudut 30° dapat menghasilkan nilai total daya sebesar 375,11 W untuk *monocrystalline* dan 410,41 W untuk *polycrystalline* dengan total radiasi masukan yang diterima oleh panel surya sebesar 9520.69 W/m². Pada orientasi utara dan sudut 40° dapat menghasilkan nilai total daya sebesar 503,39 W untuk *monocrystalline* dan 535,35W untuk *polycrystalline* dengan total radiasi masukan yang diterima oleh panel surya sebesar 11757,6 W/m².

SUMMARY

Optimization of Orientation and Tilt Angle of Solar Panels at CDAST Building University of Jember: Muhamad Faisal Ali, 131910201065: 2017: 104 pages: Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Energy requirements are increasing as the technology grows. However, not all utilized energy sources can be renewed so that one day the energy source will run out like fossil energy. In addition to the reduced availability of fossil energy, the use of fossil energy also greatly affect the damage occurring in the environment due to the exploitation and the exhaust gas from the burning of fossil energy. Therefore, the development of renewable energy needs to be done in order to meet current energy needs.

One source of energy that can be utilized to meet energy needs in Indonesia is solar energy. The potential of solar energy generation is considered the most potential for equatorial region because the intensity of solar radiation received by the earth reaches $1000\text{W} / \text{m}^2$. In Indonesia, which is a tropical region has enormous solar energy potential with an average daily insolation of $4.5\text{-}4.8\text{ KWh}/\text{m}^2/\text{day}$.

Buildings have an important role in the use of solar panels. The application of solar panels on the roof of the building is by integrating solar panels on the outer shell of buildings such as fasade and roof. Installation of solar panels on the roof depends on the geographical location of an area where the building is standing, because the geographical location is very influential on solar radiation received solar panels. A geographical area of a region will determine the selection of solar panel types and mounting techniques in buildings. Some things to consider for the design of buildings that use solar panels, among others, the arrangement and orientation of buildings, the form of building mass, the height of the surrounding buildings, building structure modules and building materials.

In the research on the optimization of the orientation direction and tilt angle of the solar panel in the building of University of Jember CDAST aimed to know the optimal orientation direction for the installation of solar panel on the roof of CDAST building. The study was conducted by changing the orientation direction in the four directions of the north, east, south and west, while the angle of slope has variations of 10°, 20°, 30°, 40° and 50°. The study was conducted using two different types of solar panels namely monocrystalline and polycrystalline. Data obtained from research in the form of current data, voltage, power, temperature and radiation intensity which data will be directly stored on datalogger. Solar panel testing is done using a dummy load without storage via battery.

From the research that has been done on the roof of CDAST building University of Jember can be seen that the orientation and angle of solar panels affect the performance of solar panels. Change the day and date of testing solar panel will effect on the orientation and tilt angle of solar panels on the roof of the CDAST building. From the test results are known on April 20, 2017 orientation and tilt angle is facing to the North with tilt angle of 30° while on July 15, 2017 orientation and tilt angle is facing the North with the angle of 40°. Orientation and tilt angle affects the performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels. On the orientation of the North and 30° tilt angle can be generate a total power value amounting to 375,11 W for monocrystalline and 410.41 W for polycrystalline with the total radiation received by surface of solar panels of 9520,69 W/m². On the orientation facing to the North and tilt angle of 40° can produce a total power value amounting to 503,39 W for monocrystalline and 535,35 W for polycrystalline with the total radiation received by surface of solar panels of 11757.6 W/m².

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Orientasi dan Sudut Kemiringan Panel Surya di Gedung CDAST Universitas Jember”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.,selaku dosen penguji utama dan Bapak Samsul Bachri Masmachofari, S.T. M.MT., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantupenulisan skripsi secara administratif.
6. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ismu dan Ibu Lasinem serta kakakku Kholison Daroini dan Ifna Hidayati atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
7. Kepada teman-teman seperjuangan se-DPU Welli Agustina, Tazkiyatun Nufus, Delvi Picalista, Moh. Choirul Anwar, Suwandi, Eki Rovianto, M. Miftah Faris, Dicky Hakim dan Bayu Setya Pambudi yang selalu saling mendukung satu sama lain dalam penyusunan skripsi.

8. Rekan satu penelitian Dicky Hakim yang menjadi partner dalam mengerjakan alat penelitian dan penyusunan skripsi serta berpanas-panasan di atap gedung CDAST selama 5 bulan.
9. Teman-teman kontrakan POJOK Heri Santoso, Teo Aska Prabawa, Mohamad Choirul Anwar, Ahmad Iqbal Nasrudin, Budi Santoso, Andika Wahyu P, Achmad Fitoyo dan M. Nuri Bachrudin yang selama 4 tahun telah saling membantu satu sama lain.
10. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2013 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
11. Keluarga kelompok KKN 162 Aditya Ramadhan, Rosida Amalya, Aulia Virda Verinta, Arricha Widi Prameswari, Dwi Maulidiandari E, Laras Prasasti, Ahmad Alfian A, Sufi Fadilah dan Fitriyatul Khoiriyah yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam mengerjakan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya 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, 6 Juni 2017

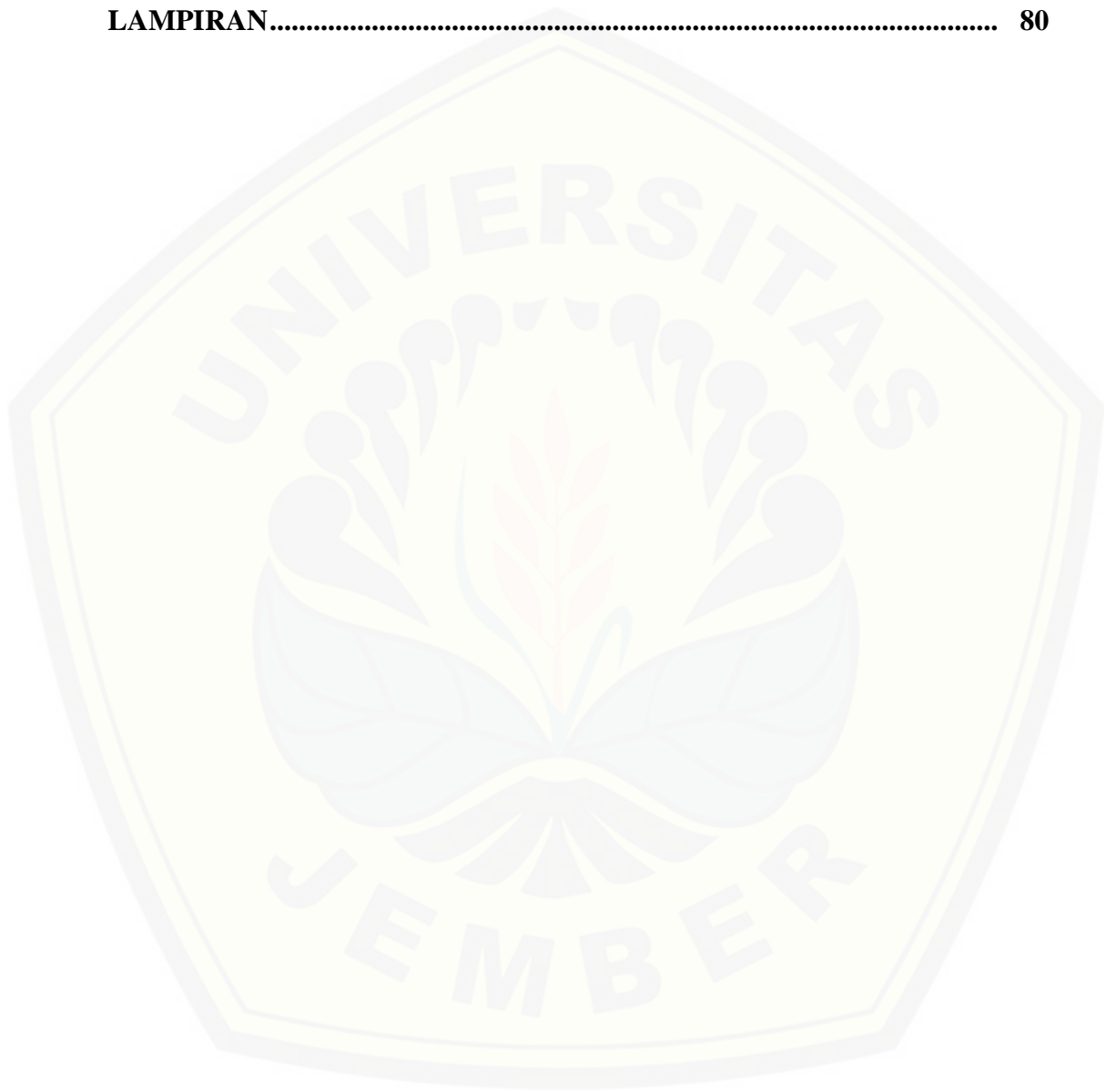
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi dan Radiasi Matahari	5
2.2 Geometri Bumi dan Matahari	7
2.3 Sel Surya	9
2.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya	10
2.3.2. Karakteristik Sel Surya.....	12
2.3.3 Jenis-Jenis Sel Surya	16
2.4 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia	19

2.5 Penelitian Tentang Orientasi dan Kemiringan Panel Surya.....	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Tahapan Penelitian.....	23
3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian	24
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.5 Diagram Alir Penelitian	28
3.6 Diagram Blok Sistem Panel Surya.....	29
3.7 Rancangan Alat	30
3.8 Metode Analisis Penelitian	31
3.8.1 Pemilihan Lokasi Penelitian.....	31
3.8.1 Konfigurasi Sistem Pengujian	32
3.8.2 Teknik Analisis Data	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Pembuatan Alat dan Kalibrasi.....	43
4.1.1 Proses Pembuatan Rangka	43
4.1.2 Proses Pembuatan <i>Data Logger</i>	44
4.1.3 Proses Pembuatan <i>Dummy Load</i>	45
4.1.4 Proses Kalibrasi Sensor	45
4.2 Data Kalibrasi Sensor Lux	46
4.3 Analisis Orientasi Panel Surya.....	47
4.4 Perhitungan Sudut Kemiringan dan Sudut Datang Sinar	49
4.4.1 Menghitung Sudut Kemiringan Panel Optimal	49
4.4.2 Menghitung Sudut Datang Sinar Matahari.....	52
4.4.3 Menghitung Radiasi Masukan pada Sudut Kemiringan.....	56
4.5 Data Hasil Pengujian Panel Surya.....	60
4.5.1 Data Radiasi Masukan.....	60
4.5.2 Data Daya Keluaran Panel Surya	62
4.6 Analisis Radiasi dan Daya Panel Surya dengan Perbedaan Hari...	66
4.7 Analisis Orientasi dan Sudut Kemiringan Panel Surya	70
4.8 Pengaruh Radiasi dan Suhu Terhadap Performa Panel Surya	73

BAB 5. PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	80



DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian	24
3.2 Spesifikasi Panel Surya	25
3.3 Spesifikasi <i>Thermocouple</i> MAX6675.....	26
3.4 Spesifikasi <i>Accelerometer</i> ADXL345.....	27
3.5 Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	27
3.6 Parameter Pengukuran Panel Surya	36
3.7 Pengukuran dengan Orientasi dan Sudut Kemiringan	37
4.1 Sudut Kemiringan Panel Surya	51
4.2 Sudut Sinar Datang Panel Surya	55
4.3 Radiasi Masukan Hasil Perhitungan	58
4.4 Radiasi Masukan Orientasi Utara.....	60
4.5 Total Radiasi Masukan.....	61
4.6 Daya Keluaran <i>Monocrystalline</i> Orientasi Utara.....	63
4.7 Daya Keluaran <i>Polycrystalline</i> Orientasi Utara.....	63
4.8 Total Daya Keluaran Panel Surya	64
4.9 Data Perhitungan Sudut Panel Surya	67
4.10 Total Radiasi dengan Perbedaan Hari Pengujian	68
4.11 Total Daya Panel Surya dengan Perbedaan Hari Pengujian	69
4.12 Data Panel Surya Dengan Berbagai Orientasi dan Kemiringan.....	73

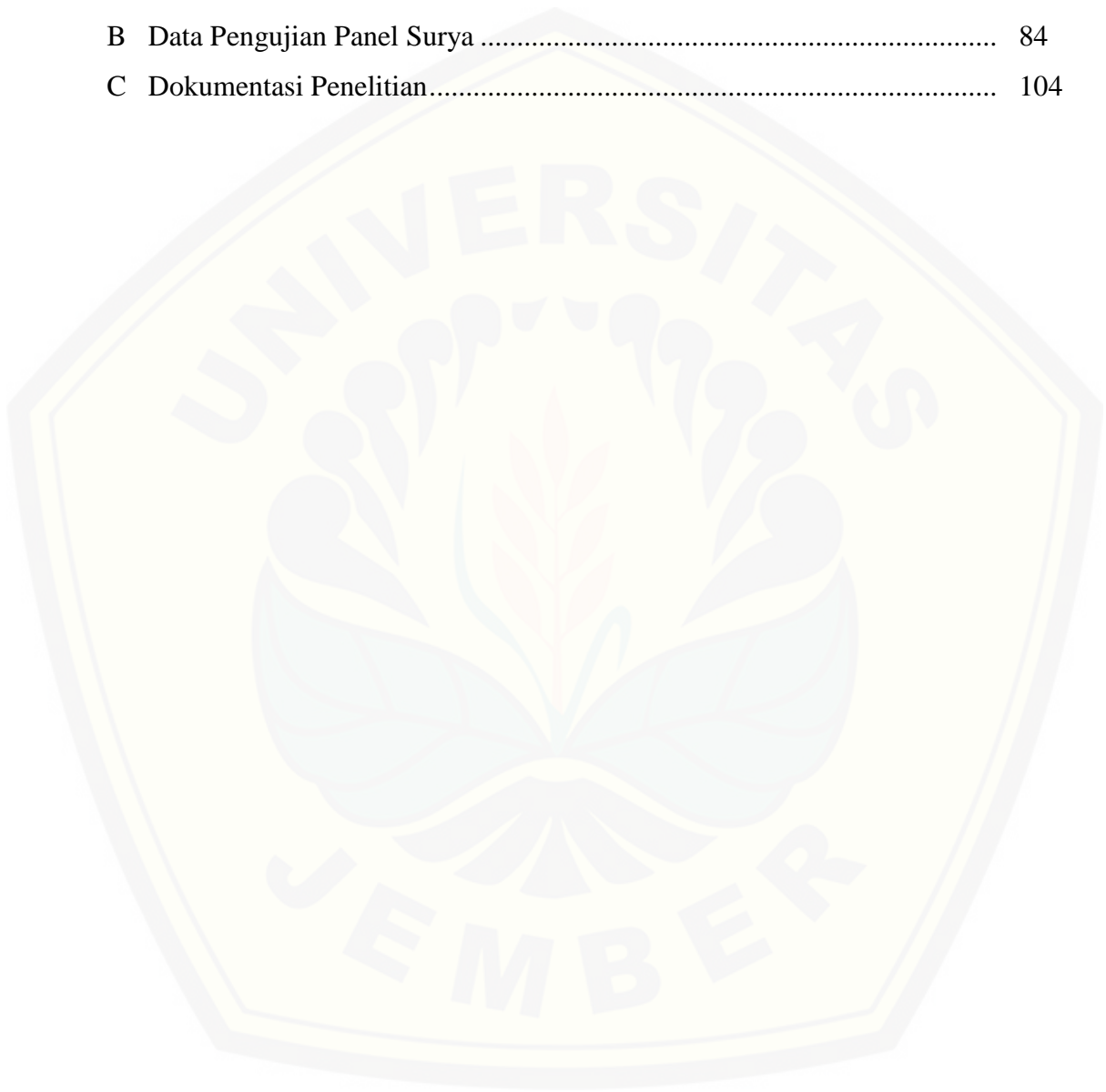
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Reaksi Termonuklir Matahari	5
2.2 Radiasi Matahari	6
2.3 Orbit Bumi Mengelilingi Matahari	7
2.4 Sudut Altitude dan Azimuth	8
2.5 Sel Surya	9
2.6 Rangkaian Pengganti Sel Surya	9
2.7 Semikonduktor P dan N	10
2.8 Perpindahan Elektron dan <i>Hole</i> pada <i>PN Junction</i>	11
2.9 Daerah Depleksi pada <i>PN Junction</i>	11
2.10 Medan Listrik E pada <i>PN Junction</i>	12
2.11 Kurva Karakteristik V-I pada Panel Surya	13
2.12 Kurva Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap Panel Surya	14
2.13 Kurva Pengaruh Suhu Terhadap Panel Surya	15
2.14 Jenis-Jenis Sel Surya	16
2.15 Prinsip Kerja PLTS	19
2.16 Metode Sentralisasi (<i>Solar Home System</i>)	20
2.17 Pengaruh Jarak dan Sudut Kemiringan pada <i>Monocrystalline</i>	21
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	28
3.2 Blok Sistem Panel Surya	29
3.3 Desain Penyangga Panel Surya	30
3.4 Lokasi Penelitian	31
3.5 Rangkaian Pengukuran Intensitas Cahaya	32
3.6 Rangkaian Pengukuran Suhu Panel Surya	33
3.7 Rangkaian Pengukuran Sudut	34
3.8 Kompas Analog	35
3.9 Proyeksi Sudut Panel Surya	38
4.1 Rangka Penyangga Panel Surya	44
4.2 <i>Data Logger</i> Panel Surya	44

4.3	<i>Dummy Load</i> Panel Surya.....	45
4.4	Proses Kalibrasi Sensor.....	45
4.5	Grafik Kalibrasi Sensor Lux	46
4.6	Sinar Datang dan Sudut Deklinasi	48
4.7	Grafik Sudut Sinar Datang Panel Surya.....	55
4.8	Grafik Radiasi Masukan Hasil Perhitungan.....	59
4.9	Grafik Total Radiasi Masukan	61
4.10	Grafik Total Daya <i>Monocrystalline</i>	65
4.11	Grafik Total Daya <i>Polyocrystalline</i>	66
4.12	Grafik Sudut Kemiringan dalam Satu Tahun.....	68
4.13	Total Daya <i>Polycrystalline</i> Orientasi Utara	71
4.24	Total Radiasi Orientasi Utara.....	72
4.12	Grafik Pengaruh Radiasi Terhadap Effisiensi.....	74
4.13	Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Effisiensi.....	75

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A Data Kalibrasi Sensor Lux	80
B Data Pengujian Panel Surya	84
C Dokumentasi Penelitian.....	104



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Akan tetapi, tidak semua sumber energi yang dimanfaatkan dapat diperbaharui sehingga suatu saat sumber energi akan habis seperti halnya energi fosil. Pada tahun 2008 penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batubara mendominasi penggunaan energi hingga mencapai 97% sedangkan penggunaan energi terbarukan seperti energi air, energi angin, energi matahari dan panas bumi hanya sebesar 3% (Nurulianthy, 2012). Selain semakin berkurangnya ketersediaan energi fosil, penggunaan energi fosil juga berpengaruh besar terhadap kerusakan yang terjadi di lingkungan akibat adanya eksploitasi serta adanya gas buang dari hasil pembakaran energi fosil. Oleh karena itu, pengembangan energi alternatif terbarukan perlu dilakukan demi memenuhi kebutuhan energi saat ini.

Saat ini pengembangan energi alternatif telah banyak dikembangkan di berbagai negara dengan memanfaatkan sumber daya alam terbarukan seperti energi matahari, angin dan panas. Salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia adalah energi matahari. Potensi pembangkitan energi bersumber tenaga matahari dinilai paling potensial untuk daerah khatulistiwa karena intensitas radiasi sinar matahari yang diterima oleh bumi mencapai $1000\text{W}/\text{m}^2$. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5-4,8 KWh/ m^2 /hari (Yuliananda, 2015). Dengan potensi energi matahari yang melimpah maka penggunaan sel surya sebagai penghasil energi listrik alternatif sangat diperlukan.

Sel surya merupakan sambungan dua bahan semikonduktor atau lebih dengan tipe berbeda (tipe N dan tipe P). Sel surya dapat melakukan perubahan energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839 (Wardy, 2014). Energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Saat tengah hari yang cerah

radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt per meter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10%, maka modul sel surya ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt. Modul sel surya komersial memiliki efisiensi berkisar antara 5% hingga 15% tergantung material penyusunnya (Riyadi, 2008).

Bangunan memiliki peranan penting dalam penggunaan panel surya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk perancangan bangunan yang menggunakan panel surya antara lain, susunan dan orientasi bangunan, bentuk massa bangunan, ketinggian bangunan sekitar, modul struktur bangunan dan material bangunan. Salah satu factor penting yang mempengaruhi kinerja panel surya pada bangunan adalah kemiringan panel surya. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis terkait pemasangan panel surya pada atap sebuah bangunan yang dilakukan oleh Habtamu B Madessa dari *Oslo University Collage of Applied Science*. Pada penelitian tersebut dilakukan analisis terkait pengaruh jenis panel surya yang digunakan, jarak penempatan dan kemiringan panel surya terhadap performa panel surya pada atap sebuah bangunan di Negara Norwegia. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa jarak penempatan dan sudut kemiringan PV sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh panel surya dimana jarak tersebut akan berpengaruh terhadap suhu dan sirkulasi udara disekitar panel surya sehingga akan mempengaruhi kinerja dari panel surya.

Di Indonesia penelitian tentang sudut kemiringan *solar collector* pernah dilakukan oleh Ekadewi A Handoyo. Pada penelitian tersebut mengatakan bahwa untuk wilayah Surabaya pada periode 12 Maret – 30 September sudut kemiringan optimal berada pada variasi sudut kemiringan antara 0° - 40° menghadap ke utara. Sedangkan pada periode 1 Oktober - 11 Maret sudut optimal untuk *collector* panel surya berada pada rentang 0° - 30° menghadap ke Selatan. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terkait optimasi orientasi dan sudut kemiringan panel surya di gedung CDAST (*Center for Development of Advanced Science and Technology*) Universitas Jember.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan maka pada tugas akhir ini dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh orientasi dan sudut kemiringan terhadap performa panel surya pada atap gedung CDAST Universitas Jember?
2. Bagaimana pengaruh orientasi dan sudut kemiringan terhadap performa panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*?

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas, batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Panel surya yang digunakan jenis silikon *monocrystalline* dan *polycrystalline* dengan daya 50 WP.
2. Pengujian tidak menggunakan *charge controller* dan baterai.
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban murni berupa resistor (*dummy load*).
4. Tidak membahas penggunaan daya yang dihasilkan oleh panel surya.
5. Hanya membahas empat orientasi yakni utara, timur, selatan dan barat.
6. Hanya membahas lima perubahan sudut yakni 10°, 20°, 30°, 40° dan 50°.
7. Tidak membahas pengaruh kecepatan angin, kelembapan udara dan ketinggian lokasi penelitian.
8. Penelitian dilakukan pada atap gedung CDAST Universitas Jember dengan koordinat -8.165 LS dan 113.716 BT.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan akhir yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh orientasi dan sudut kemiringan terhadap performa panel surya pada atap gedung CDAST Universitas Jember.
2. Dapat mengetahui pengaruh orientasi dan sudut kemiringan terhadap performa panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*.

1.5. Manfaat Penelitian

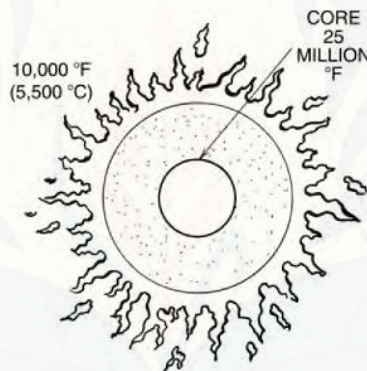
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat berupa pengembangan penggunaan panel surya pada atap gedung CDAST Universitas Jember serta dapat memberikan informasi mengenai pengaruh orientasi dan sudut kemiringan terhadap performa panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi dan Radiasi Matahari

Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Energi memiliki beberapa bentuk diantaranya, yaitu energi potensial, energi suara, energi panas, energi kimia, energi listrik, dan energi radiasi. Salah satu bentuk energi yang paling banyak terdapat di bumi yakni energi panas. Energi panas merupakan bentuk energi yang bersumber dari matahari. Energi yang dipancarkan oleh matahari adalah berupa radiasi cahaya dalam bentuk gelombang elektromagnetik pendek. Sumber energi panas berasal dari reaksi termonuklir yang terjadi di dalam matahari dengan suhu sebesar 25.000.000 °F, tapi sebenarnya radiasinya dihasilkan oleh lapisan luar matahari yang disebut fotosfer sekitar 10.000 °F (Lechner, 2015).



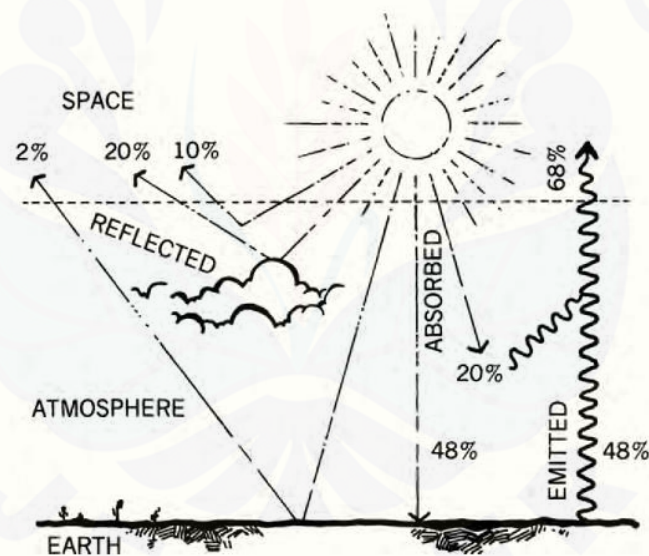
Gambar 2.1 Reaksi Termonuklir Matahari

(Sumber : Norbert Lechner, 2015)

Radiasi matahari yang sampai ke bumi melewati ruang hampa udara dengan kecepatan cahaya. Radiasi matahari tersebut mencakup juga radiasi sinar *ultraviolet* dan inframerah. Radiasi sinar *ultraviolet* disebabkan oleh energi panas yang menimbulkan perubahan suhu tekanan dan kelembaban di bumi. Sinar ini dapat memberikan dampak buruk bagi kulit apabila kulit terpapar sinar ini secara terus-menerus. Sedangkan radiasi sinar infra merah merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih besar dari cahaya tampak yaitu di antara 700 nm dan 1 mm, sehingga tidak terlihat oleh mata. Namun demikian,

radiasi panas yang ditimbulkan infra merah masih terasa atau masih dapat terdeteksi. Dari keseluruhan radiasi matahari terbagi menjadi 3 bagian besar yakni radiasi cahaya tampak sebesar 46%, radiasi sinar *ultraviolet* sebesar 7% dan radiasi sinar inframerah sebesar 47% (Rizal, 2008).

Menurut teori radiasi matahari, bahwa radiasi sinar matahari yang masuk ke bumi tidak semuanya diserap. Hanya 15% yang diserap oleh permukaan bumi. Ada juga yang dipantulkan dan diteruskan. Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. *Supply* energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sebenarnya sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai 3×10^{24} joule pertahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini (Yulianto, 2008).



Gambar 2.2 Radiasi Matahari

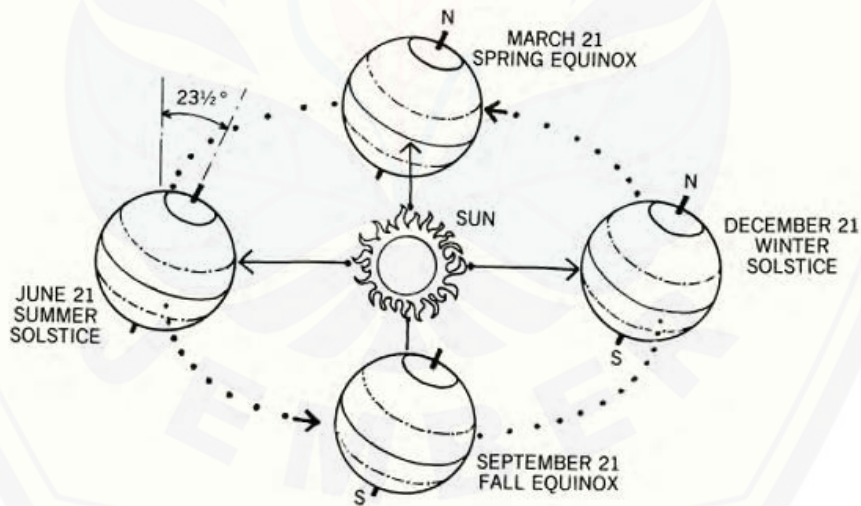
(Sumber : Norbert Lechner, 2015)

Tidak seluruh energi yang dikeluarkan oleh matahari mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer. Radiasi surya yang menimpa permukaan bumi juga bergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya dalam atmosfer. Energi surya yang maksimum akan mencapai permukaan bumi bilamana berkas sinar surya menempuh jarak yang lebih

pendek di atmosfer, sehingga mengalami absorpsi lebih sedikit dari pada jika sudut timpanya miring terhadap normal.

2.2 Geometri Bumi dan Matahari

Lintasan orbit bumi berbentuk elips bukan lingkaran, ini menyebabkan jarak antara bumi dan matahari tidak selalu sama, bervariasi seiring dengan perputaran bumi mengelilingi matahari. Bumi mengelilingi matahari dengan masa satu tahun untuk satu putaran. Bumi berotasi pada porosnya (Utara-Selatan) dengan masa satu hari per sekali rotasi. Bumi mengelilingi matahari seiring dengan perputaran bumi pada porosnya (utara-selatan). Posisi poros tidak tegak lurus pada bidang orbit, mempunyai kemiringan sudut sebesar $23,5^\circ$ dari sudut normal. Akibat rotasi, arah dan kemiringan sumbu bumi, sudut datang sinar matahari yang mencapai permukaan bumi bervariasi tiap harinya dan selalu berubah sepanjang tahun dan kemiringan ini juga menyebabkan perbedaan musim dan perbedaan energi radiasi matahari yang diterima di setiap belahan bumi (Lechner, 2015).

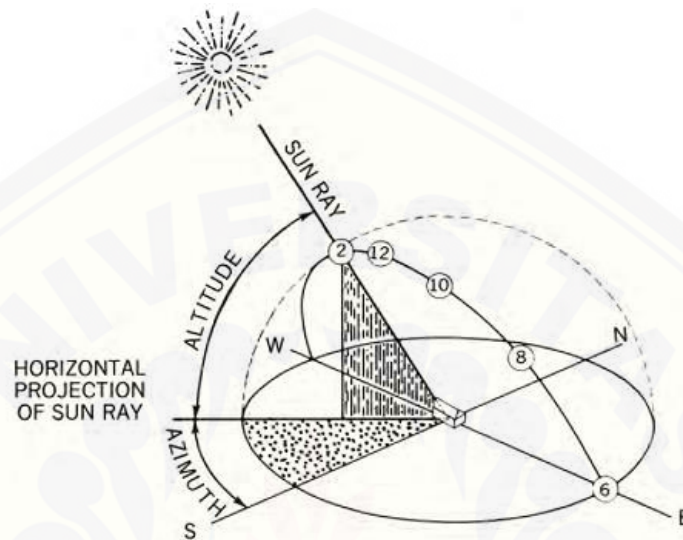


Gambar 2.3 Orbit Bumi Mengelilingi Matahari

(Sumber : Norbert Lechner, 2015)

Karena kemiringan poros bumi tetap, belahan bumi utara akan menghadap matahari pada bulan Juni dan belahan bumi selatan akan menghadap matahari pada bulan Desember. 4 Matahari akan berada tepat diatas garis khatulistiwa pada

tanggal 21 Maret dan 21 September. Kutub utara berada paling dekat dengan matahari pada tanggal 21 Juni dan pada tanggal 21 Desember merupakan posisi terjauh kutub utara dengan matahari. Kondisi ekstrem terjadi pada saat itu, kutub utara mengalami siang selama 24 jam dan malam selama 24 jam.



Gambar 2.4 Sudut Altitude dan Azimuth
(Sumber : Norbert Lechner, 2015)

Sudut vertikal dimana sinar matahari menyentuh bumi disebut sebagai sudut altitude dan merupakan sebuah hasil perhitungan fungsi lintang geografis, waktu tahunan, dan waktu harian. Prinsip geometris sudut altitude adalah 90 derajat dikurangi posisi garis lintang atau dengan kata lain altitude merupakan sudut vertical dari proyeksi sinar matahari. Sudut altitude menjadi konsekuensi dalam dua hal yaitu mempengaruhi iklim dan musim. Pengaruh dari perbedaan iklim dan musim yaitu kepada besar kecilnya radiasi matahari yang diterima pada suatu tempat (Twidell, 2006).

2.3 Sel Surya

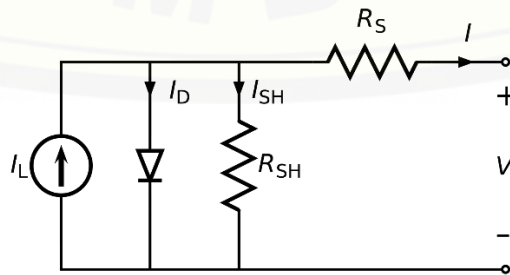
Sel surya merupakan suatu bahan semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik ketika terpapar oleh cahaya matahari. Selama bahan semikonduktor tersebut terpapar oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya maka akan berhenti menghasilkan energi listrik (Tito, 2012).



Gambar 2.5 Sel Surya

(Sumber : Google Image, 2013)

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor yang mana memiliki elektron yang terikat lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika energi yang lebih besar dari batas *threshold* diberikan kepada elektron di pita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus. Kemudian elektron tersebut bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi. Elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dapat berasal dari foton yang mana merupakan partikel dari cahaya matahari (Chenming dan Richard, 1983).



Gambar 2.6 Rangkaian Pengganti Sel Surya

(Sumber :Beng Tito, 2012)

Gambar 2.4 merupakan rangkaian pengganti dari sel surya. Dari gambar rangkaian pengganti sel surya tersebut dapat diketahui persamaan eksponensial sel surya yang secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel surya adalah sebagai berikut.

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V+I r_s)}{NKT} - 1 \right) - \frac{(V+I r_s)}{R_{sh}}$$

Dimana :

I_{ph}	= arus hubung singkat
I_s	= arus <i>reverse saturation diode</i>
q	= muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
V	= tegangan dioda
K	= konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ C)
T	= suhu <i>junction</i> dalam kelvin
N	= faktor ideal dari dioda
R_s	= tahanan seri dari dioda
R_{sh}	= tahanan shunt dari dioda

2.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya

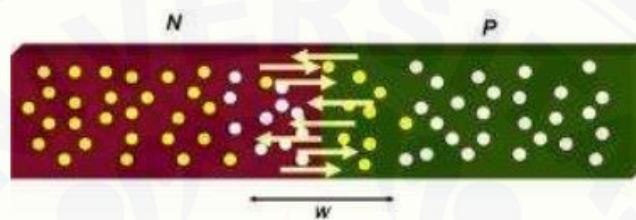
Susunan sebuah solar cell sama dengan sebuah dioda, terdiri dari dua lapisan yang dinamakan PN junction. PN *junction* itu diperoleh dengan jalan menodai bahan silikon murni bervalensi dengan impuriti bervalensi 3 pada bagian sebelah kanan, dan yang di sebelah kiri dinodai dengan impuriti bervalensi 5. Sehingga pada bagian kanan terbentuk silikon yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis P, sedangkan yang sebelah kiri dinamakan silikon jenis N (Gunarta, 2011).



Gambar 2.7 Semikonduktor P dan N

(Sumber : <http://energisurya.wordpress.com>, 2008)

Di dalam silikon murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan *hole*, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Setelah dilakukan proses penodaan itu, di dalam silikon jenis P terbentuk *hole* dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu di dalam silikon jenis P *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Sebaliknya, di dalam silikon jenis N elektron disebut pembawa muatan mayoritas, dan *hole* disebut pembawa muatan minoritas.



Gambar 2.8 Perpindahan Elektron dan *Hole* Pada PN Junction

(Sumber : <http://energisurya.wordpress.com>, 2008)

Di dalam batang silikon itu terjadi pertemuan antara bagian P dan bagian N. Oleh karena itu dinamakan PN junction. Elektron dari semikonduktor N bersatu dengan *hole* pada semikonduktor P yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor P akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif.

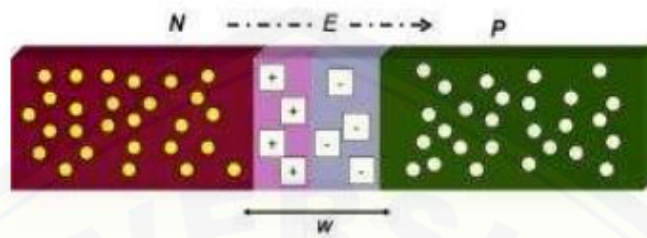


Gambar 2.9 Daerah Depleksi Pada PN Junction

(Sumber : <http://energisurya.wordpress.com>, 2008)

Daerah negatif dan positif pada PN junction disebut dengan daerah depleksi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah depleksi disebut dengan pembawa muatan minoritas karena

keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka akan timbul medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor P dan elektron ke semikonduktor N.



Gambar 2.10 Medan Listrik E Pada PN Junction
(Sumber : <http://energisurya.wordpress.com>, 2008)

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan PN berada pada titik seimbang, yakni saat di mana jumlah *hole* yang berpindah dari semikonduktor P ke N dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor P akibat medan listrik E . Pada sambungan PN inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk sel surya, semikonduktor N berada pada lapisan atas sambungan P yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor P, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor P.

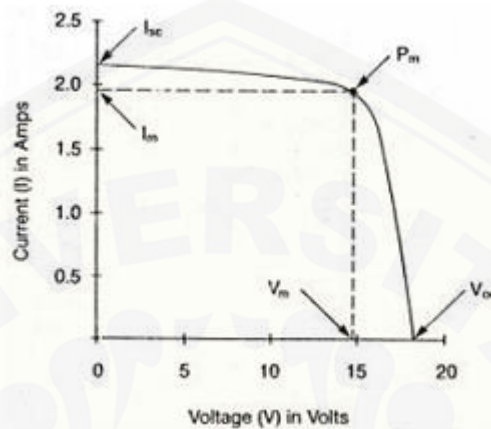
2.3.2 Karakteristik Sel Surya

Beberapa karakteristik penting sel surya terdiri dari tegangan *open circuit* (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), efek perubahan intensitas cahaya matahari, efek perubahan temperatur serta karakteristik tegangan–arus ($V - I$ characteristic) pada sel surya (Satwiko, 2012)

a. Kurva Karakteristik Tegangan-Arus

Penggunaan tegangan dari sel surya bergantung dari bahan semikonduktor yang digunakan. Jika menggunakan bahan silikon, maka tegangan yang dihasilkan dari setiap sel surya berkisar 0,5 V. Modul surya merupakan gabungan beberapa sel

surya yang dihubungkan secara seri dan paralel sehingga memiliki karakteristik seperti Gambar 2.11. Tegangan dihasilkan dari sel surya bergantung dari radiasi cahaya matahari. Untuk arus yang dihasilkan dari sel surya bergantung dari luminasi (kuat cahaya) matahari.



Gambar 2.11 Kurva Karakteristik V-I Pada Panel Surya

(Sumber : Satwiko, 2012)

b. Tegangan *Open Circuit*

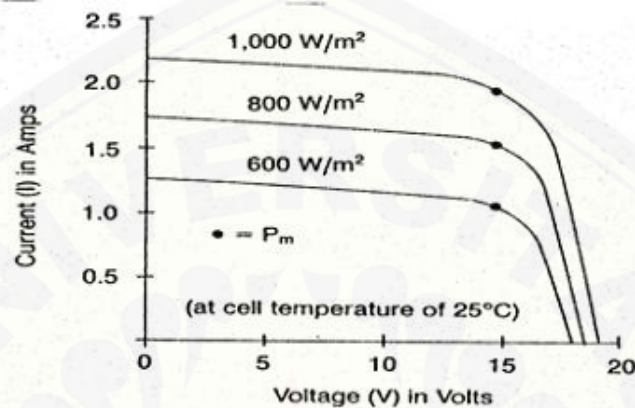
V_{oc} adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengan nol. Cara untuk mencapai *open circuit* (V_{oc}) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif modul surya dengan voltmeter, sehingga akan terlihat nilai tegangan *open circuit* sel surya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

c. Arus *Short Circuit*

I_{sc} adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh modul sel surya dengan cara menghubungkan kutub positif dengan kutub negatif pada modul surya. Dan nilai I_{sc} akan terbaca pada amperemeter. Arus yang dihasilkan modul surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan.

d. Pengaruh *Irradiance* Pada Sel Surya

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima sel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah seperti Gambar 2.12, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya.



Gambar 2.12 Kurva Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap Panel Surya

(Sumber : Satwiko, 2012)

Pengaruh perubahan radiasi matahari terhadap keluaran sel surya ditunjukkan pada gambar 2.10. Arus yang dibangkitkan oleh foton I_{ph} berhubungan dengan besarnya radiasi matahari λ sebagai berikut.

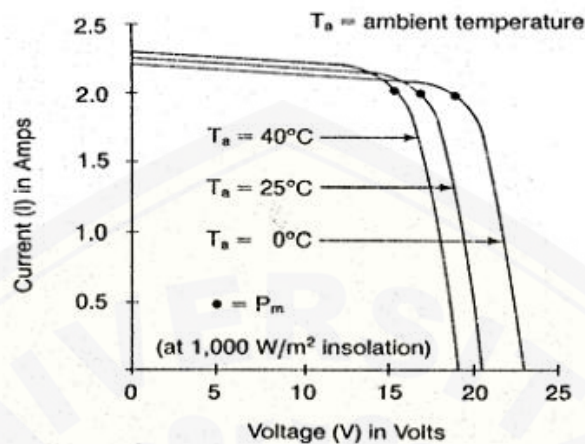
$$I_{ph} = [I_{sc} + k_1 (T - 298)] \frac{\lambda}{100}$$

Dari persamaan rumus diatas k_1 adalah koefisien suhu arus hubung singkat, I_{sc} adalah arus hubung singkat pada suhu 25°C, T adalah suhu sel surya dan λ adalah radiasi matahari dalam kW/m².

e. Pengaruh Suhu Pada Sel Surya

Sel surya akan bekerja secara optimum pada suhu konstan yaitu 25°C. Jika suhu disekitar sel surya meningkat melebihi 25°C, maka akan mempengaruhi *fill factor* sehingga tegangan akan berkurang seperti Gambar 2.13. Selain itu, efisiensi

sel surya juga akan menurun beberapa persen. Sedangkan sebaliknya, arus yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada sel surya.



Gambar 2.13 Kurva Pengaruh Suhu Terhadap Panel Surya

(Sumber : Satwiko, 2012)

Suhu sel surya dapat mempengaruhi arus hubung singkat I_{sc} seperti diberikan pada persamaan diatas dan mengubah arus saturasi diode dalam sel surya seperti diberikan pada persamaan berikut.

$$I_s(T) = I_s \left[\frac{T}{T_{nom}} \right]^3 \exp \left[\left(\frac{T}{T_{nom}} - 1 \right) \frac{E_g}{NVt} \right]$$

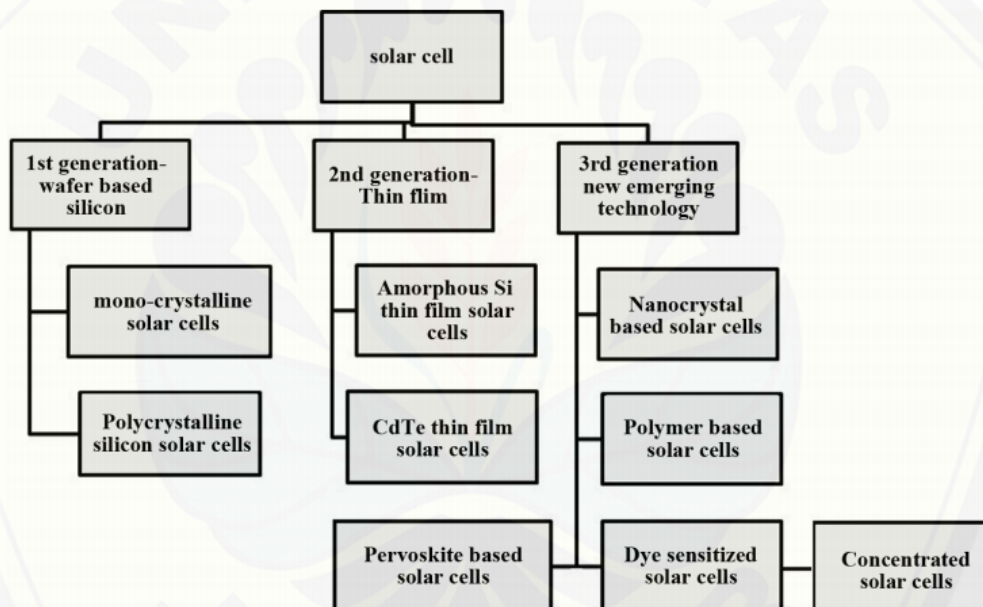
T_{nom} memiliki nilai sebesar 273 K, I_s merupakan arus *reverse saturation*, E_g merupakan *band gap* energi dari semikonduktor dan Vt merupakan tegangan termal pada suhu ruangan. Arus *reverse saturation* dapat diperoleh melalui persamaan berikut.

$$I_s = \frac{I_{sc}}{\exp \frac{qV_{oc}}{NKT} - 1}$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat diketahui bahwa arus saturasi diode bergantung pada suhu, arus saturasi akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu sel surya. Peningkatan arus saturasi akan memperkecil nilai tegangan rangkaian terbuka atau V_{oc} .

2.3.3 Jenis-Jenis Sel Surya

Saat ini teknologi modern untuk *photovoltaic solar cell* merupakan silikon tipis yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi modern untuk sel surya menerapkan prinsip aliran *electron* dan *hole* pada bahan semikonduktor yang terdiri dari dua lapisan yang berbeda yakni semikonduktor tipe P dan tipe N. beberapa macam tipe bahan yang digunakan dalam pembuatan *photovoltaic solar cell* meliputi *silicon semiconductor*, *cadmium-telluride*, *copper indium gallium selenide* dan *copper indium gallium sulfide* (Sharma, 2015). Dari beberapa material tersebut *photovoltaic solar cell* dapat diklasifikasikan sebagai berikut.



Gambar 2.14 Jenis-Jenis Sel Surya

(Sumber : Shruti Sharma, 2015)

a. Sel Surya Generasi Pertama

1. *Monocrystalline Silicon Solar Cell*

Monocrystalline merupakan kristal silikon murni yang membutuhkan teknologi khusus untuk mengirisnya menjadi kepingan-kepingan kristal silikon yang tipis. Dengan teknologi seperti ini, akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi sel surya yang paling

efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, sekitar 15% - 20% (Bagher, 2015). Mahalnya harga kristal silikon murni serta rumitnya teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga sel surya jenis ini dibandingkan jenis sel surya *polycrystalline*.

2. *Polycrystalline Silicon Solar Cell*

Jenis ini terbuat dari batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak semurni pada sel surya *monocrystalline*, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding *monocrystalline*, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.

b. Sel Surya Generasi Kedua

1. *Amorphous Silicon Thin Film (a-Si) Solar Cell*

Sel surya dengan bahan *Amorphous Silicon* ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut *stacking* (susun lapis), dimana beberapa lapis *Amorphous Silicon* ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%. Kelebihan utama dari sel surya silikon *amorf* adalah biaya produksi lebih rendah, yang membuat sel-sel ini sangat biaya kompetitif.

2. *Cadmium Telluride (CdTe) Thin Film Solar Cell*

Sel surya jenis ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya *Amorphous Silicon*, yaitu sekitar: 9% - 11%.

3. *Copper Indium Gallium Di-Selenide (CIGS) Solar Cell*

Dibandingkan kedua jenis sel surya thin film di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya *Cadmium* seperti pada sel surya CdTe.

c. Sel Surya Generasi Ketiga

1. *Nano Crystal Based Solar Cell*

Nano Crystal Based Solar Cell merupakan sebuah sel surya yang terdiri dari substrat dengan lapisan nanokristal. Lapisan nanokristal yang digunakan merupakan jenis *silicon*, *CdTe* atau *CIGS* dan pada umumnya substrat merupakan bahan konduktor organik. Solar sel dengan *silicon nanocrystall* mempunyai keunggulan yakni bahan yang digunakan dapat menimbulkan efek multielektron (Bagher, 2015).

2. *Polymer Based Solar Cell*

Pada *Polymer Based Solar Cell* bahan yang digunakan untuk melakukan penyerapan cahaya matahari terbuat dari bahan polimer organik. Prinsip dasar dibalik *polymer solar cell* tidak berbeda dengan sel surya jenis lainnya, yakni perubahan energi dari radiasi elektromagnetik (cahaya) menjadi energi listrik (tegangan dan arus) yang disebut dengan efek *photovoltaic* (Bagher, 2015). Untuk saat ini teknologi *polymer based solar cell* memiliki efisiensi sebesar 10%.

3. *Dye Sensitized Solar Cell*

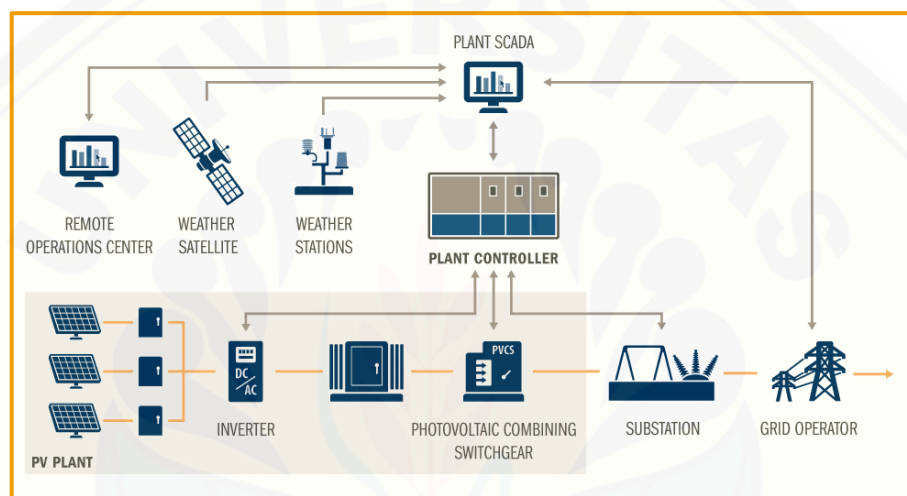
Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) diciptakan pada tahun 1991 oleh Profesor Michael Graetzel dan Dr Brian O'Regan di École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Swiss dan sering disebut sebagai sel Graetzel. DSSC merupakan teknologi sel surya yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dalam berbagai kondisi cahaya, baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan (Bagher, 2015).

4. *Concentrated Solar Cell (CPV)*

Concentrated Photovoltaic Solar Cell (CPV) merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik berdasarkan prinsip yang sama dengan sel surya konvensional, tetapi yang membedakan pada CPV menggunakan sistem optik yang mampu memfokuskan sinar matahari pada area yang besar menjadi terfokus pada tiap sel sehingga mampu meningkatkan efisiensi secara maksimum (Bagher, 2015).

2.4 Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (fotovoltaik) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC menggunakan Inverter. Oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik.



Gambar 2.15 Prinsip Kerja PLTS

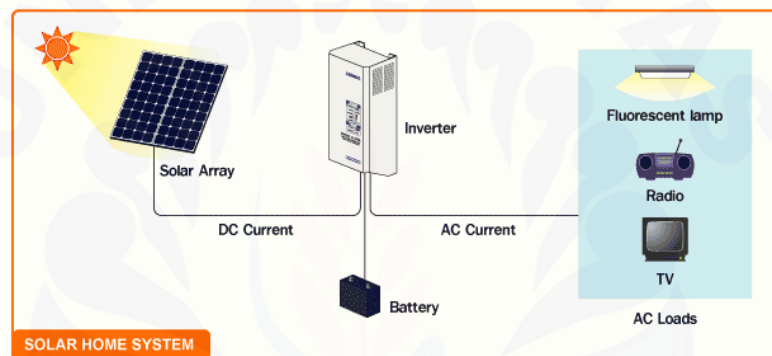
(Sumber : Google Image, 2010)

PLTS merupakan bagian dari sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi tidak ada habisnya, selain itu PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan tanpa ada bagian yang berputar sehingga tidak menimbulkan kebisingan serta tanpa mengeluarkan emisi gas buang. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya, dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun *hibryd* (dikombinasikan dengan sumber energi lain).

Indonesia merupakan negara tropis mempunyai potensi energi surya yang tinggi. Dari data penyinaran matahari di Indonesia, untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari. Dengan demikian, potensi matahari rata-rata Indonesia yaitu sebesar 4,8

kWh/m²/hari. Berarti prospek penggunaan fotovoltaik di masa mendatang cukup cerah (Rahardjo, 2008)

Secara umum biaya pembangunan PLTS memang lebih mahal dibandingkan dengan biaya pembangkitan pembangkit listrik tenaga fosil, pembangkit listrik tenaga air, minihidro, dan panas bumi. Tetapi seiring dengan semakin menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil membuat pembangunan PLTS sebagai pembangkit listrik alternatif dengan energi terbarukan dapat dipertimbangkan. Selain biaya operasional yang murah, PLTS juga ramah bagi lingkungan karena tidak menimbulkan adanya emisi gas buang CO₂ seperti halnya pembangkit listrik dengan energi fosil.



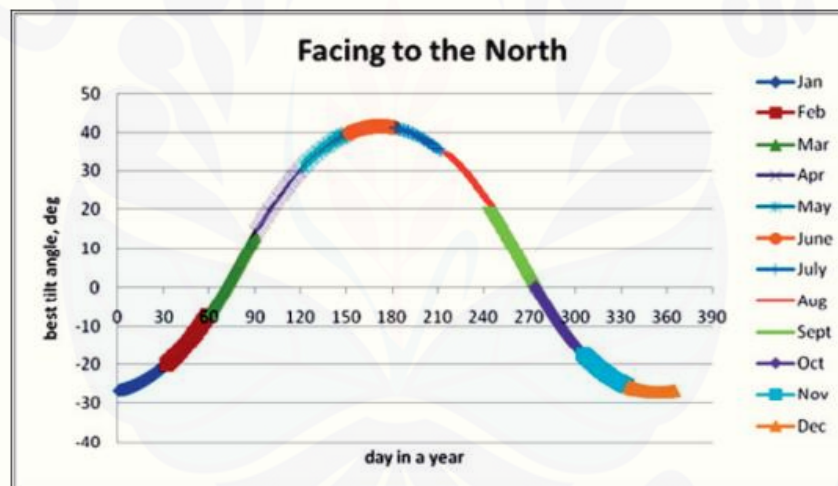
Gambar 2.16 Metode Sentralisasi (*Solar Home Sistem*)

(Sumber : Google Image, 2009)

Pembuatan PLTS sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan system SHS (Solar Home System) dimana panel surya dipasang pada atap rumah dan energy yang dihasilkan dari panel surya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Pemasangan panel surya pada atap rumah dinilai efektif karena tidak memerlukan lahan yang luas untuk pemasangan panel surya. Peralatan yang diperlukan untuk solar home system juga sangat sederhana yakni meliputi panel surya, baterai dan inverter. Dengan adanya system SHS juga diharapkan dapat menciptakan kemandirian energy listrik sehingga mengurangi ketergantungan energy listrik dari PLN. Selain itu dengan menggunakan SHS juga dapat mendukung penggunaan energy terbarukan sebagai energy alternatif.

2.5 Pelitian Tentang Orientasi dan Kemiringan Panel Surya

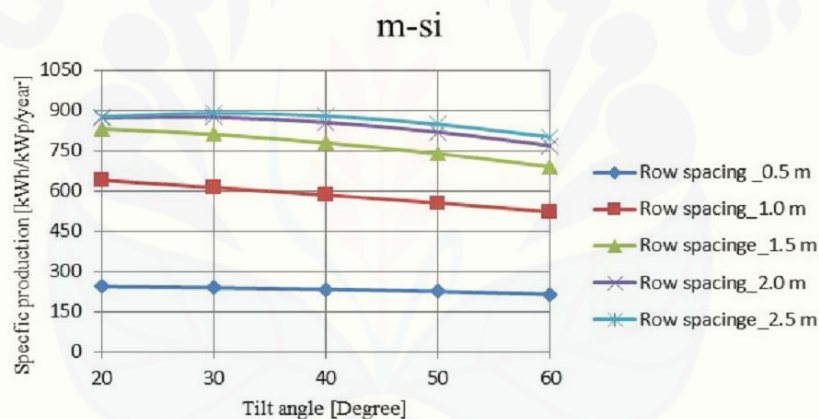
Pada penelitian sebelumnya tentang arah orientasi dan sudut kemiringan kolektor surya pernah dilakukan oleh Ekadewi A Handoyo pada tahun 2013. Pada penelitian tersebut dilakukan perhitungan untuk mengetahui sudut optimal untuk kemiringan kolektor surya serta mengetahui arah orientasi dari kolektor untuk mendapatkan hasil yang optimal. Selain melakukan perhitungan pada penelitian tersebut juga dilakukan pengambilan data pada bulan Maret, April, Juni Desember dan Januari dengan menggunakan pyranometer. Penelitian yang dilakukan oleh Ekadewi tersebut bertempat di kota Surabaya, Indonesia. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan sudut kemiringan optimal untuk kolektor selama satu tahun untuk daerah kota Surabaya. Hasil dari penelitian tersebut ditunjukkan melalui grafik pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 Sudut Kemiringan Optimal pada Lattitude $7,2^\circ$ Menghadap Utara

Dari gambar 2.17 dapat dilihat bahwa sudut kemiringan untuk *solar collector* berubah sepanjang tahun. Sudut negatif menandakan kolektor menghadap ke arah Selatan sedangkan nilai positif menandakan menghadap ke arah Utara. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk *solar collector* yang dipasang di Surabaya, sudut optimal pada tanggal 12 Maret sampai 30 September berada pada sudut antara 0° - 40° menghadap arah Utara. Sedangkan untuk periode 1 Oktober sampai 11 Maret sudut optimal untuk kolektor surya berada pada sudut 0° - 30° menghadap arah Selatan.

Sedangkan untuk penelitian panel surya pada atap bangunan pernah dilakukan oleh Habtamu B Madessa pada tahun 2015, yakni dengan membandingkan perbedaan jarak penempatan dan sudut kemiringan dengan menggunakan lima jenis panel surya yang berbeda. Penelitian tersebut menganalisis penggunaan panel surya pada atap sebuah bangunan di kota Oslo, Norwegia. Penelitian tersebut hanya sebuah simulasi dengan menggunakan software PVsyst V5.52, dimana software tersebut dapat digunakan untuk menganalisis performa dari panel surya. Penelitian dilakukan pada atap bangunan dengan mengatur jarak pemasangan antar panel serta mengatur sudut kemiringan panel surya pada atap bangunan. Jarak antar panel diatur dengan jarak sebesar 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m, dan 2,5 m. Sedangkan untuk sudut kemiringan panel diatur sebesar 20°, 30°, 40°, 50° dan 60°.



Gambar 2.18 Pengaruh Jarak dan Sudut Kemiringan Pada *Monocrystalline*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak penempatan maka daya yang dihasilkan akan semakin besar. Penempatan jarak antar panel akan berpengaruh terhadap suhu pada panel sehingga akan berpengaruh terhadap daya keluaran dan efisiensi dari panel. Sedangkan variasi sudut hanya berpengaruh sedikit terhadap daya keluaran dari panel surya *monocrystalline*. Variasi sudut yang optimal berada pada sudut antara 30° sampai dengan 40°. Pada penelitian ini modul surya jenis *monocrystalline silicon* (m-Si) memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan modul surya jenis yang lainnya.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : *Center for Development of Advanced Sciences and Technology (CDAST)*, Universitas Jember
Alamat : Jl. Kalimantan No.37, Kampus Tegalboto Jember
Waktu : Januari 2017 - April 2017

3.2 Tahapan Penelitian

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini terdapat beberapa tahapan penelitian yang akan dilakukan. Secara garis besar tahapan penelitian terbagi menjadi 5 bagian utama yakni sebagai berikut:

1. Tahapan Studi Pustaka

Pada tahap ini merupakan tahapan yang membantu untuk menemukan rujukan terkait dengan penelitian yang serupa, dimana referensi atau rujukan tersebut nantinya akan dijadikan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian.

2. Tahapan Desain dan Pembuatan Alat

Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain rangka untuk panel surya yang akan digunakan dalam penelitian dan akan dilakukan pembuatan instrumentasi pengukuran intensitas radiasi matahari, derajat kemiringan dan suhu untuk panel surya. Untuk sensor pada penelitian ini menggunakan sensor lux dari luxmeter HS1010, sensor *accelerometer* serta sensor *thermocouple*.

3. Tahapan Pengujian Alat

Pada tahap ini dilakukan pengujian alat yang telah dibuat yakni meliputi rangka pada panel surya serta sistem instrumentasi pengukuran intensitas radiasi matahari serta pengukuran suhu untuk panel surya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban murni berupa resistor. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh arah orientasi dan sudut pemasangan terhadap daya yang dihasilkan panel surya.

4. Tahapan Analisis Data

Pada tahap ini analisa data dilakukan setelah mendapatkan hasil data dari tahapan pengujian alat. Analisis data dilakukan untuk mendapatkan data yang akan digunakan sebagai data utama pada tahap pembahasan dan penulisan laporan. Data yang didapatkan merupakan data dari panel surya antara lain arus, tegangan, suhu, intensitas radiasi dan sudut kemiringan panel surya. Data tersebut juga merupakan data dari dua jenis panel surya yang berbeda yakni *monocrystalline* dan *polycrystalline*.

5. Tahapan Penulisan Laporan dan Kesimpulan

Pada tahap ini merupakan tahapan akhir dari penelitian yang telah dilaksanakan. Dimana data yang telah didapatkan dianalisis dan ditulis dalam sebuah laporan. Analisis yang dilakukan untuk membuktikan kesesuaian antara penelitian yang telah dilakukan dengansumber rujukan atau referensi yang telah didapat.

3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Pustaka	■															
3	Desain dan Pembuatan Alat			■		■		■		■		■					
4	Pengujian Alat					■		■		■		■		■			
5	Analisis Data									■		■		■			
6	Penulisan Laporan dan Kesimpulan													■		■	

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

3.4.1 Alat Penelitian

1. PC / Laptop

PC / Laptop digunakan untuk melakukan simulasi rancangan sistem serta melakukan analisis hasil simulasi. PC/Laptop yang digunakan memiliki spesifikasi Intel Celeron Dual Core, RAM 4GB.

2. Alat Pengukuran

Alat ukur yang akan dipergunakan dalam penelitian ini meliputi pengukur intensitas radiasi matahari yakni luxmeter, kompas dan multimeter.

3.4.2 Bahan Penelitian

1. Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini merupakan panel surya jenis *polycrystalline* dan *monocrystalline* dengan kapasitas 50 WP. Berikut ini merupakan spesifikasi dari panel surya yang digunakan.

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya

No	Spesifikasi	<i>Polycrystalline</i>	<i>Monocrystalline</i>
1.	<i>Merk</i>	S-Series	S-Series
2.	<i>Model Type</i>	SP-50-M36	SP-50-M36
3.	<i>Cell Type</i>	<i>Polycrystalline</i>	<i>Monocrystalline</i>
4.	<i>Number of Cell</i>	36 Cell	36 Cell
5.	<i>Dimension</i>	71 x 50 x 3	71 x 50 x 3
6.	<i>Maximum Power Peak</i>	50 WP	50 WP
7.	<i>Open Circuit Voltage</i>	22,5 V	22,5 V
8.	<i>Short Circuit Current</i>	3,04 A	3,04 A
9.	<i>Maximum Power Voltage</i>	17,6 V	17,6 V
10.	<i>Maximum Power Current</i>	2,85 A	2,85 A
11.	<i>Test Condition</i>	1000W/m ² , 25°C	1000W/m ² , 25°C

2. Sensor Lux

Sensor lux yang digunakan didapatkan dari modul luxmeter HS1010. Prinsip kerja sensor lux tersebut adalah mengubah cahaya menjadi tegangan. Ketika modul tersebut terkena cahaya maka akan menghasilkan tegangan DC. Besarnya tegangan berkisar antara 0-350mV.

3. Sensor *Thermocouple* MAX6675

Sensor suhu yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *thermocouple*. *Thermocouple* dinilai memiliki sensitifitas yang lebih baik daripada sensor LM35. Selain itu dari segi kapasitas *thermocouple* lebih tahan terhadap adanya suhu panas yang tinggi. Berikut ini merupakan spesifikasi *thermocouple* yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.3 Spesifikasi *Thermocouple* MAX6675

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Sensor Type</i>	<i>Thermocouple</i>
2.	<i>Model Type</i>	MAX6675
3.	<i>Voltage Operation</i>	3-5 VDC
4.	<i>Current Operation</i>	50 mA
5.	<i>Sensing Range</i>	0-1023 °C
6.	<i>Temperature Range</i>	0-800 °C
7.	<i>Interfacce</i>	CS, SCK, MISO

4. Sensor *Accelerometer* GY-521 MPU-6050

Pada penelitian ini untuk mengetahui sudut kemiringan (*tilt angle*) dari panel surya diatas atap bangunan akan digunakan sensor *Accelerometer* GY-521 MPU-6050. Sensor ini menerapkan deteksi percepatan gravitasi bumi dalam melakukan pengukuran, dimana nantinya sensor ini akan dapat mengukur posisi panel surya dalam sumbu *vertical* dan *horizontal*. Sensor ini dilengkapi dengan 16 bit ADC *hardware* yang memungkinkan modul menangkap data dari kanal x, y dan z secara bersama. Berikut ini merupakan spesifikasi dari *Accelerometer* MPU-6050.

Tabel 3.4 Spesifikasi *Accelerometer GY-521 MPU-6050*

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Sensor Type</i>	<i>Accelerometer</i>
2.	<i>Model Type</i>	MPU-6050
3.	<i>Voltage Operation</i>	3-5 VDC
4.	<i>Current Operation</i>	140 μ A
5.	<i>Axis Measuring</i>	X,Y,Z Axis
6.	<i>Acceleration Range</i>	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
7.	<i>Interfacce</i>	<i>Standart I²C</i>

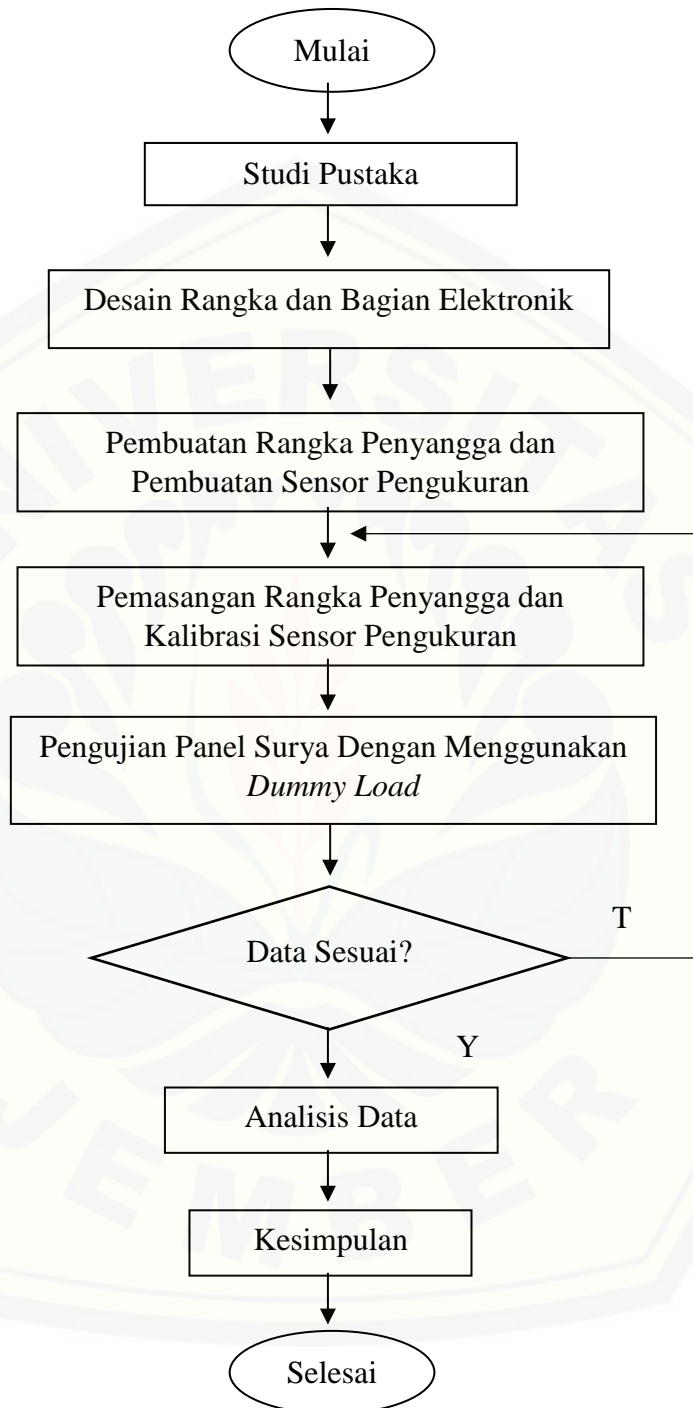
5. Mikrokontroller

Mikrokontroller digunakan sebagai pengatur dan pemroses dari hasil peralatan instrumentasi alat ukur diantaranya pengukuran arus, tegangan, daya, intensitas matahari serta suhu lingkungan. Mikrokontroller mendapat masukan dari sensor arus dan sensor tegangan serta lux, *accelerometer* dan *thermocouple*. Mikrokontroller yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino Mega2560.

Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino Mega 2560

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Type</i>	<i>Microcontroller</i>
2.	<i>Model Type</i>	ATmega 2560
3.	<i>Voltage Operation</i>	5 VDC
4.	<i>Voltage Input</i>	7 – 12 VDC
5.	<i>Digital Input – Output</i>	54 Pins
6.	<i>Analog Input</i>	16 Pins
7.	<i>Flash Memory</i>	256 KB
8.	<i>SRAM</i>	8 KB
9.	<i>EEPROM</i>	4 KB
10.	<i>Clock</i>	16 MHz

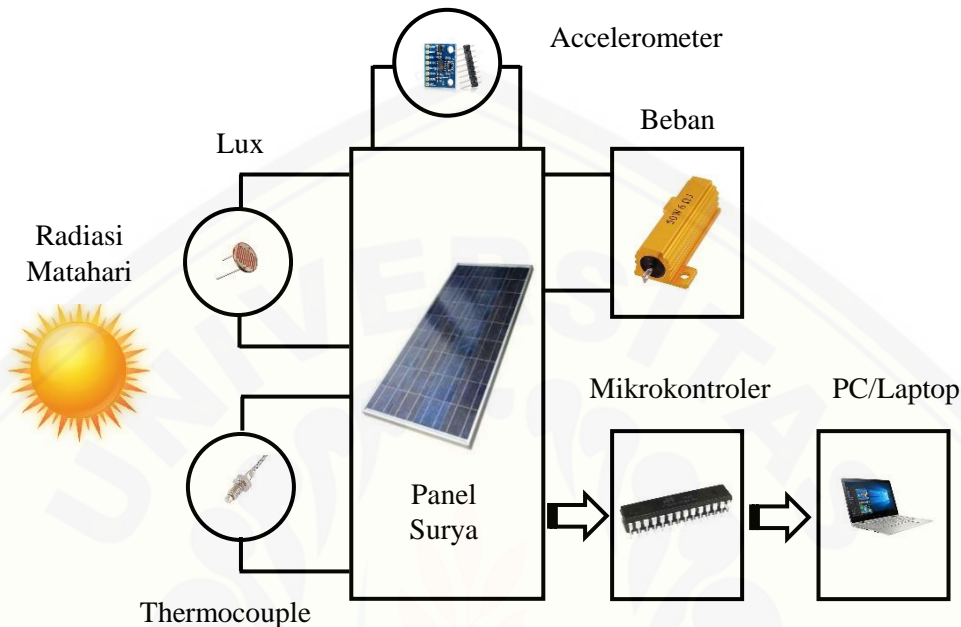
3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.6 Diagram Blok Sistem Panel Surya

Diagram blok dari Sistem panel surya dan peralatan pengukuran diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Sistem Panel Surya

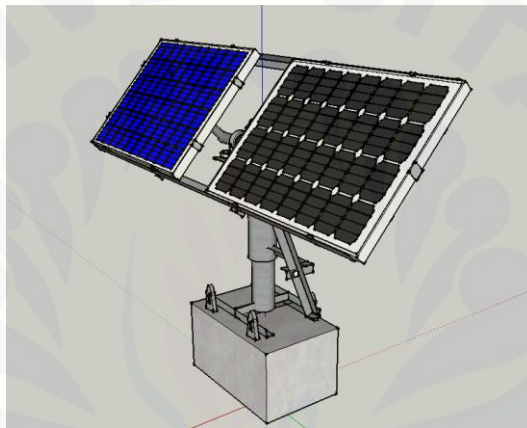
Dari diagram blok diatas merupakan Sistem panel surya yang akan dibuat pada penelitian ini. Pada Sistem tersebut terdapat panel surya sebagai penghasil energi listrik dan dilengkapi dengan sistem pengukuran intensitas cahaya matahari, pengukuran suhu sekitar panel surya serta pengukuran sudut kemiringan panel surya. Untuk pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan sensor lux dengan modul luxmeter HS1010, untuk pengukuran suhu permukaan panel surya dan suhu di bawah panel menggunakan sensor suhu termokopel, sedangkan untuk pengukuran sudut kemiringan panel surya menggunakan sensor *acelerometer*. Untuk pengukuran arus dan tegangan keluaran dari panel surya menggunakan sensor arus INA219.

Hasil pengukuran intensitas cahaya, suhu panel, arus dan tegangan akan disimpan pada datalogger yang dilengkapi dengan RTC (*Real Time Clock*). Untuk proses pengaturan semua sensor dan semua hasil pengukuran dikerjakan oleh perangkat mikrokontroller. Perangkat mikrokontroller yang digunakan dalam

penelitian ini yakni Arduino Mega 2560. Dari hasil pengukuran tersebut akan dapat diketahui karakteristik dari kedua jenis panel surya terhadap pengaruh suhu, arah orientasi dan sudut kemiringan panel surya. Pengujian pada panel surya dilakukan tanpa menggunakan penyimpan energi atau baterai. Pengujian akan dilakukan langsung menggunakan beban murni berupa resistor.

3.7 Rancangan Alat

Rancangan penyangga panel surya yang akan diletakkan diatas atap bangunan ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Desain Penyangga Panel Surya

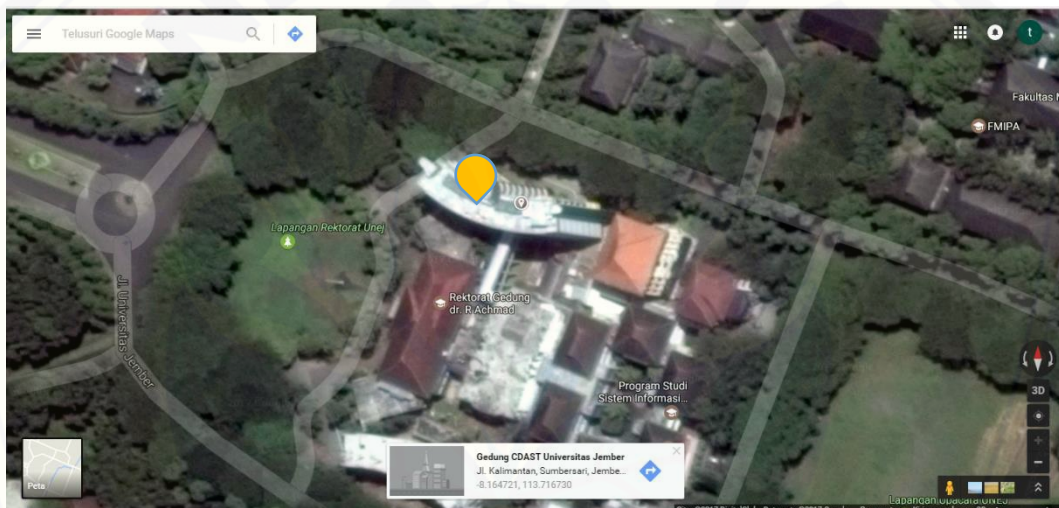
Pada desain penyangga panel surya diatas dilengkapi dengan sistem pengatur arah orientasi dan pengatur sudut kemiringan. Nantinya pada penelitian ini menggunakan 1 buah penyangga untuk mengatur arah orientasi panel surya. Sedangkan untuk pengatur sudut kemiringan bisa diatur pada penyangga. Pada desain penyangga diatas juga dilengkapai dengan letak penempatan sensor cahaya, sensor *accelerometer* dan sensor suhu. Untuk sensor cahaya menggunakan sebuah sensor lux HS1010 yang akan dipasang diatas panel surya. Untuk sensor *accelerometer* akan dipasang lurus pada bidang panel surya untuk mengetahui kemiringan panel. Sedangkan untuk sensor suhu menggunakan sensor termokopel yang akan dipasang pada bagian atas permukaan panel surya dan bagian bawah panel surya.

3.8 Metode Analisis Penelitian

Pada penelitian ini akan dianalisis terkait pengaruh arah orientasi dan sudut pemasangan panel surya terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya. Secara umum penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian utama yakni analisis lokasi penelitian, analisis teknis penelitian dan analisis perhitungan.

3.8.1 Pemilihan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Gedung Center for Development of Advanced Sciences and Technology (CDAST) Universitas Jember yang beralamat di Jl. Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto, Sumbersari, Kabupaten Jember. Lokasi penelitian berada pada koordinat -8.165 LS dan 113.716 BT.



Gambar 3.4 Lokasi Penelitian

Berdasarkan citra satelit yang diambil melalui *google maps* lokasi penelitian memiliki arah atap bangunan menghadap ke arah Utara. Berdasarkan koordinat lokasi Gedung CDAST Universitas Jember berada pada koordinat $8,165^{\circ}$ LS yang mana merupakan posisi sebelah selatan dari garis khatulistiwa. Berdasarkan teori matahari, maka pergerakan matahari akan banyak terjadi di sebelah utara lokasi penelitian.

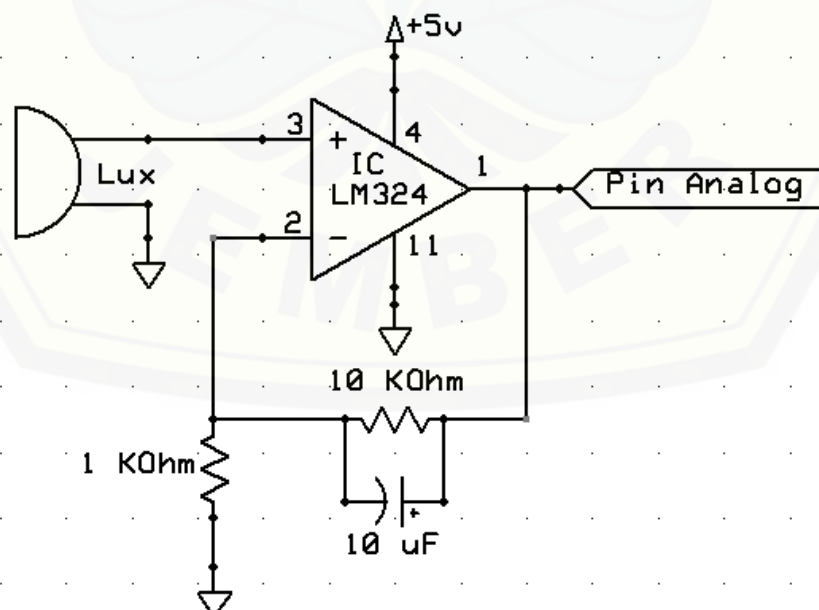
Kabupaten Jember berada pada garis lintang $8.0^{\circ} - 8.30^{\circ}$ LS. Hal ini akan berpengaruh terhadap sudut kemiringan atau *tilt angle* pada pemasangan panel surya. Pada kondisi *latitude* optimum sudut orientasinya adalah *latitude* lokasi

ditambah 23° . Sedangkan untuk daerah Indonesia yang mendapatkan radiasi matahari relatif konstan dalam setahun, sudut kemiringan atau *tilt angle* dapat dicapai dengan *latitude* $+15^\circ$.

Kemiringan atap untuk bangunan di Indonesia pada umumnya sebesar 30° mengikuti kemiringan dari bahan penutup atap. Berdasarkan kemiringan tersebut maka akan diambil penambahan sebesar 10° dan pengurangan sebesar 10° . Sehingga pada penelitian ini akan diambil besarnya sudut kemiringan panel surya diatas atap sebesar 10° , 20° , 30° , 40° dan 50° .

3.8.2 Konfigurasi Sistem Pengujian

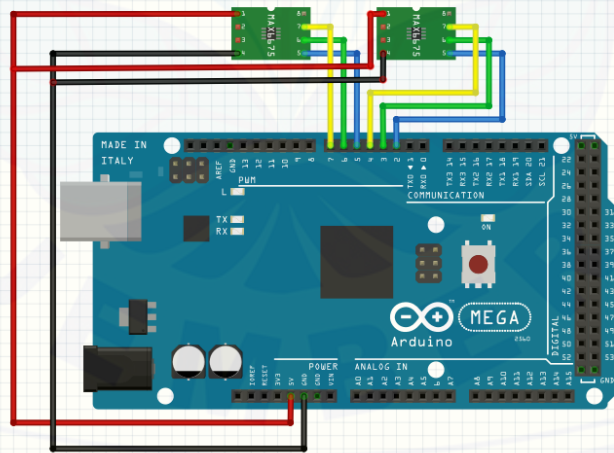
Penelitian ini menggunakan dua buah panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline* yang diletakkan pada atap sebuah bangunan. Pada penelitian ini parameter yang diubah adalah arah orientasi dan sudut kemiringan dari panel surya. Perubahan arah orientasi dilakukan sebanyak 4 arah yakni Utara, Timur, Selatan dan Barat. Sedangkan sudut dirubah sebanyak 5 kali yakni sebesar 10° , 20° , 30° , 40° dan 50° . Pada penelitian ini terdapat beberapa parameter pengukuran diantara pengukuran intensitas cahaya matahari, pengukuran suhu disekitar panel serta pengukuran sudut kemiringan panel surya.



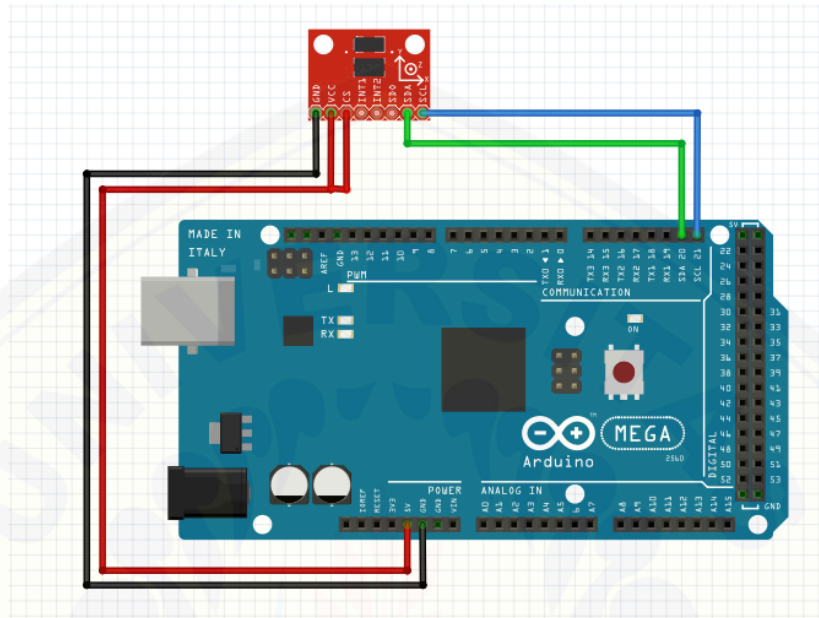
Gambar 3.5 Rangkaian Pengukuran Intensitas Cahaya

Rangkaian pengukuran intensitas cahaya matahari diatas menggunakan sensor lux dari modul luxmeter tipe HS1010 sebagai penerima cahaya. Besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan sensor lux akan berpengaruh terhadap besarnya tegangan keluaran dari sensor lux. Modul sensor lux dari luxmeter HS1010 memiliki nilai tegangan keluaran antara 0-350 mV sehingga untuk pembacaan pada pin analog Arduino perlu dilakukan penguatan tegangan. Sebagai penguat tegangan akan digunakan rangkaian *op-amp* dengan menggunakan IC LM324. Untuk komponen penguat tegangan yang lain adalah resistor dengan besar resistansi 10 K Ω dan 1 K Ω . untuk mencegah terjadinya osilasi maka pada rangkaian *feedback* akan ditambah kapasitor dengan ukuran 10 μ F. Rangkaian penguat tegangan yang dirancang dapat menguatkan tegangan sebesar 11 kali, sehingga tegangan keluaran dari sensor lux yang semula sebesar 0-350mV bias dikuatkan menjadi sebesar 0-3850 mV.

Parameter pengukuran selanjutnya yakni pengukuran suhu sekitar panel surya. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan sensor *thermocouple* MAX6675.



Parameter pengukuran yang berikutnya yakni pengukuran orientasi panel surya. Untuk menentukan sudut kemiringan dan posisi panel surya akan digunakan sensor *accelerometer* ADXL345.



Gambar 3.7 Rangkaian Pengukuran Sudut Orientasi

Penentuan sudut kemiringan digunakan untuk menentukan posisi yang paling ideal untuk pemasangan panel surya diatas atap bangunan. Penentuan sudut akan berpengaruh terhadap besarnya penerimaan radiasi matahari yang akan diterima oleh panel surya. Pada penelitian ini akan ditentukan beberapa variasi sudut kemiringan pada pemasangan panel surya diatas atap bangunan yakni sebesar 10° , 20° , 30° , 40° dan 50° . Dengan berbagai variasi sudut nantinya akan didapatkan sudut pemasangan yang paling optimal untuk melakukan pemasangan panel surya diatas atap sebuah bangunan.

Teknis penelitian berikutnya yakni tentang penentuan arah orientasi dari panel surya. Penentuan arah orientasi dari panel surya menggunakan sebuah kompas yang dapat mendeteksi arah penjurur mata angin. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengubahan arah panel surya sebanyak 4 penjurur mata angin yakni utara, timur, selatan dan barat. Kompas yang digunakan untuk menentukan arah orientasi panel surya ditunjukkan pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Kompas Analog

Teknis penelitian selanjutnya yakni terkait pemilihan beban yang digunakan pada saat pengujian panel surya pada atap bangunan. Pemilihan beban didasarkan pada *datasheet* panel surya yang akan digunakan. *Datasheet* yang digunakan merupakan *datasheet* nilai dari tegangan maksimal dan arus maksimal. Nilai beban didapatkan dengan cara membagi besarnya tegangan maksimal dengan arus maksimal. Sehingga perhitungan pemilihan beban untuk kedua jenis panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$\text{Beban} = \frac{V_{mp}}{I_{mp}} = \frac{17,6}{2,85} = 6,175 \Omega$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa agar panel surya dapat menghasilkan arus dan tegangan maksimal diperlukan beban yang sesuai. Pada panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* didapatkan beban sebesar 6,175 Ω . Dikarenakan beban 6 Ω tidak terdapat di pasaran maka akan menggunakan susunan seri paralel dengan menggunakan beban 39 Ω sebanyak 24 buah sehingga akan didapatkan beban sebesar 6,5 Ω . Beban yang digunakan adalah resistor dengan daya 20 watt yang terbuat dari bahan keramik. Jumlah beban yang banyak digunakan untuk menahan arus panel surya yang cukup besar sehingga kondisi beban tidak terlalu panas.

Tabel 3.6 Parameter Pengukuran Panel Surya *Polycrystalline* dan *Monocrystalline*

No	Arah Orientasi	Sudut Kemiringan	Suhu Panel		Intensitas Radiasi			Arus	Tegangan	Daya Out	Daya In	Efisiensi
			Atas	Bawah	Sensor Lux	Lux Meter	Radiasi					
1.	Utara	10°										
		20°										
		30°										
		40°										
		50°										
2.	Timur	10°										
		20°										
		30°										
		40°										
		50°										
3.	Selatan	10°										
		20°										
		30°										
		40°										
		50°										
4.	Barat	10°										
		20°										
		30°										
		40°										
		50°										

Tabel 3.7 Pengukuran Dengan Arah Orientasi -- dan Sudut Kemiringan --°

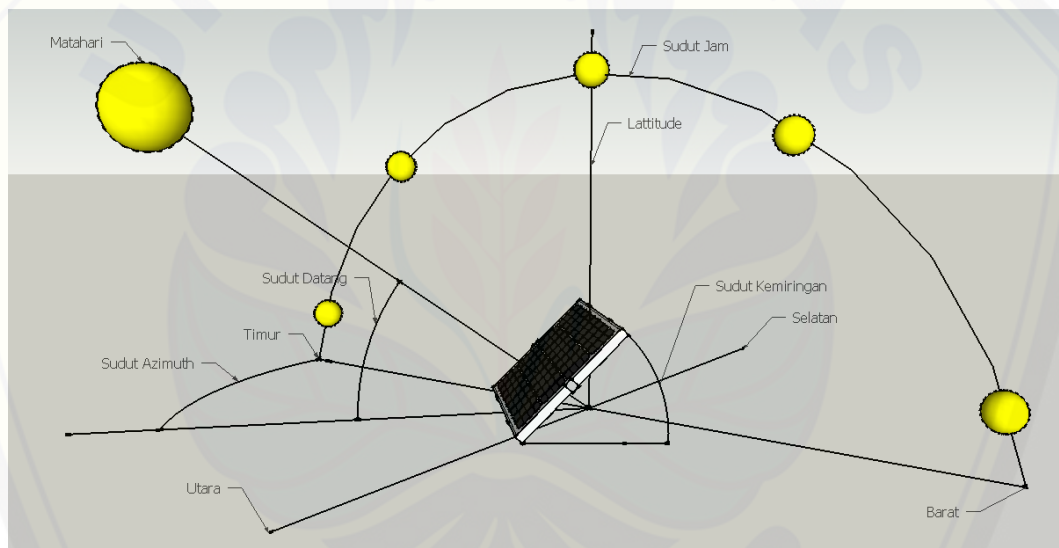
No	Jam Pengukuran	Suhu Panel		Intensitas Radiasi			Arus	Tegangan	Daya Out	Daya In	Efisiensi
		Atas	Bawah	Sensor Lux	Lux Meter	Radiasi					
1	07.00 WIB										
2	07.30 WIB										
3	08.00 WIB										
4	08.30 WIB										
5	09.00 WIB										
6	09.30 WIB										
7	10.00 WIB										
8	10.30 WIB										
9	11.00 WIB										
10	11.30 WIB										
11	12.00 WIB										
12	12.30 WIB										
13	13.00 WIB										
14	13.30 WIB										
15	14.00 WIB										
16	14.30 WIB										
17	15.00 WIB										
18	15.30 WIB										
19	16.00 WIB										

3.8.3 Teknik Analisis Data

Analisis perhitungan digunakan sebagai data pendukung terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan. Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan mengenai sudut kemiringan panel dan sudut sinar datang, perhitungan radiasi masukan serta perhitungan daya dan efisiensi.

1. Perhitungan Sudut Kemiringan dan Sudut Datang Sinar Matahari

Sebelum melakukan perhitungan terhadap sudut kemiringan dan sudut sinar datang untuk panel surya perlu diketahui beberapa sudut yang berpengaruh dalam perhitungan. Berikut ini digambarkan beberapa sudut yang berpengaruh dalam menentukan sudut kemiringan dan sudut datang untuk pemasangan kolektor panel surya.



Gambar 3.9 Proyeksi Sudut Panel Surya

Dari penggambaran diatas dapat diketahui bahwa ada beberapa faktor yang dapat digunakan untuk menentukan sudut kemiringan dan sudut datang. Beberapa faktor yang berpengaruh dalam menentukan sudut kemiringan dan sudut datang untuk panel surya diantaranya sebagai berikut.

- Sudut Lattitude (ϕ), merupakan sudut derajat lintang dari lokasi penelitian dimana pada bagian utara khatulistiwa memiliki nilai positif dan bernilai negatif untuk bagian selatan garis khatulistiwa dengan nilai antara $-90^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$.

- Sudut Azimuth (γ), merupakan sudut proyeksi permukaan bidang *horizontal* dengan nol menghadap ke selatan, timur bernilai negatif dan barat bernilai positif dengan nilai sudut antara $0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- Sudut Deklinasi (δ), merupakan sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa dengan nilai positif berada di wilayah bagian utara bumi dan negative di bagian selatan bumi dengan nilai sebesar $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.
- Sudut Jam Matahari (ω), merupakan sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal akibat adanya rotasi dengan penyimpangan sebesar 15° setiap jam.
- Sudut Kemiringan (β), merupakan sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan *horizontal*.
- Sudut Datang (θ), merupakan sudut antara permukaan radiasi langsung normal *vertical* terhadap radiasi langsung *vertical* kolektor.

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan perhitungan sudut kemiringan dan sudut sinar datang matahari pada panel surya.

a. Menentukan Sudut Latitude

Sudut latitude pada penelitian ini sebesar $8,165^\circ$ yang mana sudut tersebut merupakan latitude dari gedung CDAST Universitas Jember

b. Menentukan Sudut Azimuth

Untuk arah utara sudut latitude sebesar 180° arah timur sebesar -90° arah selatan sebesar 0° arah barat sebesar 90° .

c. Menghitung Sudut Deklinasi

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

Dengan :

n = Jumlah hari saat pengambilan data

d. Menghitung Sudut Jam

$$\omega = (ts - 12:00:00) \times \frac{360}{24}$$

Dengan :

ts = Jam saat pengambilan data

- e. Menghitung Sudut Kemiringan Panel Surya

$$\tan \beta = \frac{(-\sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega)}{(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega)}$$

Dengan :

- δ = Sudut Deklinasi ($^{\circ}$)
 ϕ = Sudut Latitude ($^{\circ}$)
 γ = Sudut Azimuth ($^{\circ}$)
 ω = Sudut Jam ($^{\circ}$)

- f. Menghitung Sudut Datang Sinar Matahari

$$\cos \theta = (\sin \delta \sin \phi \cos \beta) - (\sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma) + (\cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega) + (\cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega) + (\cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega)$$

Dengan :

- δ = Sudut Deklinasi ($^{\circ}$)
 ϕ = Sudut Latitude ($^{\circ}$)
 γ = Sudut Azimuth ($^{\circ}$)
 ω = Sudut Jam ($^{\circ}$)
 β = Sudut Kemiringan ($^{\circ}$)

2. Perhitungan Radiasi Masukan Panel Surya

Perhitungan radiasi matahari dilakukan untuk mengetahui besarnya radiasi yang diterima oleh permukaan panel surya.

- a. Menentukan Radiasi Ekstraterrestrial

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360^{\circ}}{365^{\circ}} \right] (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta)$$

Dengan :

- δ = Sudut Deklinasi ($^{\circ}$)
 ϕ = Sudut Latitude ($^{\circ}$)
 ω = Sudut Jam ($^{\circ}$)
 G_{sc} = Konstanta Surya = 1367 W/m²

- b. Menentukan Indeks Kecerahan Langit

$$K_T = \frac{G}{G_0}$$

Dengan :

G = Radiasi Masukan (W/m^2)

G_0 = Radiasi Ekstraterrestrial (W/m^2)

- c. Menentukan Radiasi Hambur (Diffuse)

$$G_d = G (0.9511 - 0.1604K_T + 4.388K_T^2 - 16.638K_T^3 + 12.336K_T^4)$$

Dengan :

K_T = Indeks Kecerahan Langit

G = Radiasi Masukan (W/m^2)

- d. Menentukan Radiasi Langsung (Beam)

$$G_b = G - G_d$$

Dengan :

G = Radiasi Masukan (W/m^2)

G_d = Radiasi Hambur (W/m^2)

- e. Menentukan Sudut Zenith

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

Dengan :

δ = Sudut Deklinasi ($^\circ$)

ϕ = Sudut Latitude ($^\circ$)

- f. Menentukan Faktor Geometri Panel Surya

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

Dengan :

θ = Sudut Radiasi Langsung ($^\circ$)

θ_z = Sudut Zenith ($^\circ$)

g. Menentukan Radiasi Masukan

$$G_T = G_b R_b + G_d ((1 + \cos \beta)/2) + (G_b + G_d) \rho_g ((1 - \cos \beta)/2)$$

Dengan :

G_b = Radiasi Masukan (W/m^2)

G_d = Radiasi Hambur (W/m^2)

R_b = Faktor Geometri Sel Surya

β = Sudut Kemiringan Panel Surya

ρ_g = Reflektansi Tanah

3. Perhitungan Daya dan Efisiensi

Untuk perhitungan daya yang dihasilkan oleh panel surya perlu melakukan perhitungan terhadap daya *input* dan daya *output* dari panel surya serta perhitungan terhadap efisiensi dari panel surya.

a. Perhitungan Daya Masukan

$$P_{in} = A \times I_r$$

b. Perhitungan Daya Keluaran

$$P_{out} = I_{mp} \times V_{mp}$$

c. Perhitungan Efisiensi

$$\eta_{aktual} = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{A \times I_r}$$

Keterangan:

V_{mp} = Tegangan Aktual (Volt)

I_{mp} = Arus Aktual (Ampere)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)

A = Luas Area Pemukaan Panel Surya (m^2)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Perubahan hari dan tanggal pengujian akan berpengaruh terhadap orientasi dan sudut kemiringan panel surya pada atap gedung CDAST. Dari hasil pengujian diketahui pada tanggal 20 April 2017 orientasi dan sudut kemiringan berada pada arah utara dengan sudut 30° sedangkan pada tanggal 15 Juli 2017 orientasi dan sudut kemiringan berada pada arah utara dengan sudut 40° .
2. Orientasi dan sudut kemiringan berpengaruh terhadap performa panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Pada orientasi utara dan sudut 30° dapat menghasilkan nilai total daya sebesar 375,11 W untuk *monocrystalline* dan 410,41 W untuk *polycrystalline* dengan total radiasi masukan yang diterima oleh panel surya sebesar 9520.69 W/m^2 . Pada orientasi utara dan sudut 40° dapat menghasilkan nilai total daya sebesar 503,39 W untuk *monocrystalline* dan 535,35W untuk *polycrystalline* dengan total radiasi masukan yang diterima oleh panel surya sebesar $11757,6 \text{ W/m}^2$.

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan percobaan yang bertujuan untuk meningkatkan daya keluaran dan efisiensi panel surya agar lebih baik lagi. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan sistem *tracking* panel maupun sistem MPPT dengan *converter*. Penggunaan sistem *tracking* dan MPPT serta *converter* akan dapat meningkatkan nilai efisiensi dan daya keluaran panel surya, sehingga performa panel surya akan semakin lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Antony, F. dan Durschner. 2007. *Photovoltaic for Professionals*. Solarpraxis AG. Berlin.
- Bagher, A Mohammad. 2015. *Types of Solar Cells an Application*. Science Publishing Group.
- Duffie, John A dan William A. Backman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Process 4th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Handoyo, Ekadewi A. 2013. *The Optimal Tilt Angle of Solar Collector*. International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application. Elsevier, Science Direct.
- Lechner, Norbert. 2015. *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Madessa, Habtamu B. 2015. *Performance Analysis of Roof-Mounted Photovoltaic System – The Case of a Norwegian Residential Building*. 7th International Conference on Sustaibility in Energi and Building. Elsevier, ScienceDirect.
- Mulyono, Dwi. 2003. *Pengaruh Penambahan Reflektor Terhadap Karakteristik Arus-Tegangan dan Efisiensi Sel Surya*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Nurulianthy, Annisa. 2012. *Pengembangan Hybryd Solar Cell Dengan Thermoelectric Generator*. Depok: Universitas Indonesia.
- Rizal, M Fiqi. 2008. *Penerapan Panel Fotovoltaik Terintegrasi Pada Fasade dan Atap*. Depok: Universitas Indonesia.
- Rahardjo, Irawan dan Ira Fitriana. 2008. *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia*. Seminar Strategi Penyediaan Listrik Nasional.
- Riyadi, Awang. 2008. *Clearing House Energi Terbarukan dan Konservasi Energi*.
- Romasindah, Karlina. 2008. *Optimasi Kinerja Panel Surya Dengan Pengaturan Panel Sebagai Sun Shading Untuk Menekan Biaya Listrik Bangunan*. Depok: Universitas Indonesia.

- Satwiko, S. 2012. *Uji Karakteristik Sel Surya Pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Sharma, Shruti. 2015. *Solar Cells: In Research and Applications-A Review*. Scientific Research Publishing.
- Tito, Beng. 2012. *Metode MPPT Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI*. Depok: Universitas Indonesia.
- Twidell, John dan Tony Weir. 2006. *Renewable Energi Resources*. New York: Taylor & Francis, Ltd.
- Yuliananda, Subekti. 2015. *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya*. Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945.
- Yuliarto, Brian. 2008. *Teknologi Sel Surya Untuk Energi Masa Depan (WEB)*
- Yuwono, Budi. 2005. *Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C5*. Surakarta: Universitas Negeri Surakarta.
- Wardy, Ridho Ravita. 2014. *Studi Orientasi Pemasangan Panel Surya Polycrystalline Silicon di Area Universitas Riau Dengan Rangkaian Seri Paralel*. Batam: Politeknik Negeri Batam.
- Wu, Chenming and Richard M White. 1983. *Solar Cells: From Basics to Advance Systems*. United States: McGraw-Hill, Inc.

LAMPIRAN**A. Data Kalibrasi Sensor Lux**

Tabel A.1 Data Kalibrasi Lux

No	Sensor (mV)	Luxmeter (Lux)
1	2510	10500
2	2520	11700
3	2528	12500
4	2541	14800
5	2562	15000
6	2567	15500
7	2572	15700
8	2576	16300
9	2592	16600
10	2598	16800
11	2611	17200
12	2624	17700
13	2628	19300
14	2628	19400
15	2650	19500
16	2658	20500
17	2663	20600
18	2663	21700
19	2667	22000
20	2667	22500
21	2676	23500
22	2680	24200
23	2680	24400
24	2719	24700
25	2723	26000
26	2732	26200
27	2741	26700
28	2754	27100
29	2771	27400
30	2806	27500
31	2810	27600
32	2823	28600
33	2862	30900

34	2879	31300
35	2896	31400
36	2897	31600
37	2903	32000
38	2905	33000
39	2910	34100
40	2918	34500
41	2920	35400
42	2923	35600
43	2925	37300
44	2927	38200
45	2931	40900
46	2940	51100
47	3005	52300
48	3009	56900
49	3022	58300
50	3031	68300
51	3035	68500
52	3035	74500
53	3035	79600
54	3039	81400
55	3052	81800
56	3057	83100
57	3061	86000
58	3065	86200
59	3065	86200
60	3065	86700
61	3069	87000
62	3070	87700
63	3074	89000
64	3078	89000
65	3078	90500
66	3083	90600
67	3083	91400
68	3087	91500
69	3087	92000
70	3087	92500
71	3091	92500
72	3091	92500
73	3091	92900
74	3096	93200

75	3096	93700
76	3096	94000
77	3096	95000
78	3100	97800
79	3100	99500
80	3100	99800
81	3100	100800
82	3100	101300
83	3104	102300
84	3104	102500
85	3109	102700
86	3109	103700
87	3113	104000
88	3115	105000
89	3115	105500
90	3117	106000
91	3122	106000
92	3122	106600
93	3122	106700
94	3126	106800
95	3126	107000
96	3130	107100
97	3130	107200
98	3130	107200
99	3135	107200
100	3135	107300
101	3148	107400
102	3148	107500
103	3152	107500
104	3152	107500
105	3152	107500
106	3152	107600
107	3156	107700
108	3156	107700
109	3161	108200
110	3161	108200
111	3161	108200
112	3165	108400
113	3165	108600
114	3165	109400
115	3178	110100

116	3182	110500
117	3182	110900
118	3187	111200
119	3191	111300
120	3195	113200



B. Data Pengujian Panel Surya

Tabel B.1 Data Panel Surya Orientasi Utara Sudut 10°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	382.63	36	8.4	1.23	10.33	8.46	1.24	10.49	135.83	7.61	7.72
7:30	406.48	40	8.86	1.31	11.61	9.26	1.32	12.22	144.30	8.04	8.47
8:00	463.12	39	9.7	1.43	13.87	11.45	1.46	16.72	164.41	8.44	10.17
8:30	534.67	46	11.38	1.68	19.12	12.2	1.73	21.11	189.81	10.07	11.12
9:00	562.99	48	12.2	1.8	21.96	13.02	1.92	25.00	199.86	10.99	12.51
9:30	685.21	44	14.43	2.13	30.74	15.05	2.26	34.01	243.25	12.64	13.98
10:00	765.71	41	15.43	2.27	35.03	16.83	2.39	40.22	271.83	12.89	14.80
10:30	770.18	49	15.45	2.29	35.38	16.2	2.39	38.72	273.41	12.94	14.16
11:00	770.18	48	15.45	2.29	35.38	16.27	2.4	39.05	273.41	12.94	14.28
11:30	852.16	48	16.64	2.46	40.93	17.19	2.55	43.83	302.52	13.53	14.49
12:00	752.29	52	15.36	2.28	35.02	16.29	2.41	39.26	267.06	13.11	14.70
12:30	206.74	47	4.84	0.72	3.48	4.86	0.69	3.35	73.39	4.75	4.57
13:00	513.80	51	10.81	1.6	17.30	11.16	1.64	18.30	182.40	9.48	10.03
13:30	399.02	45	8.62	1.28	11.03	8.82	1.29	11.38	141.65	7.79	8.03
14:00	618.14	49	13.33	1.97	26.26	13.17	2.1	27.66	219.44	11.97	12.60
14:30	555.53	49	11.98	1.78	21.32	12.31	1.82	22.40	197.21	10.81	11.36
15:00	83.02	38	2.14	0.32	0.68	2.17	0.31	0.67	29.47	2.32	2.28
15:30	69.61	37	2.03	0.31	0.63	2.06	0.3	0.62	24.71	2.55	2.50
16:00	59.17	36	1.33	0.2	0.27	1.77	0.19	0.34	21.01	1.27	1.60

Tabel B.2 Data Panel Surya Orientasi Utara Sudut 20°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	382.33	36	8.4	1.23	10.33	8.46	1.24	10.49	135.73	7.61	7.73
7:30	406.18	40	8.8	1.3	11.44	8.88	1.31	11.63	144.19	7.93	8.07
8:00	468.78	39	9.81	1.45	14.22	12.2	1.52	18.54	166.42	8.55	11.14
8:30	535.86	46	11.45	1.69	19.35	12.2	1.74	21.23	190.23	10.17	11.16
9:00	573.12	48	12.44	1.84	22.89	13.2	1.96	25.87	203.46	11.25	12.72
9:30	687.90	43	14.56	2.15	31.30	15.29	2.27	34.71	244.20	12.82	14.21
10:00	774.35	41	15.56	2.29	35.63	16.98	2.4	40.75	274.89	12.96	14.82
10:30	774.35	50	15.54	2.3	35.74	16.27	2.4	39.05	274.89	13.00	14.20
11:00	774.35	49	15.54	2.3	35.74	16.31	2.41	39.31	274.89	13.00	14.30
11:30	851.86	48	16.66	2.47	41.15	17.19	2.55	43.83	302.41	13.61	14.50
12:00	772.86	52	15.47	2.29	35.43	16.35	2.42	39.57	274.36	12.91	14.42
12:30	210.92	46	4.88	0.73	3.56	4.69	0.65	3.05	74.87	4.76	4.07
13:00	462.82	52	9.73	1.44	14.01	10.01	1.47	14.71	164.30	8.53	8.96
13:30	371.90	44	8.22	1.22	10.03	8.41	1.22	10.26	132.02	7.60	7.77
14:00	656.59	49	13.59	2.01	27.32	13.48	2.14	28.85	233.09	11.72	12.38
14:30	562.69	49	12.24	1.81	22.15	12.6	1.87	23.56	199.75	11.09	11.80
15:00	82.73	38	2.14	0.32	0.68	2.23	0.31	0.69	29.37	2.33	2.35
15:30	69.31	37	2.01	0.31	0.62	2.1	0.29	0.61	24.61	2.53	2.48
16:00	58.88	36	1.3	0.2	0.26	1.88	0.19	0.36	20.90	1.24	1.71

Tabel B.3 Data Panel Surya Orientasi Utara Sudut 30°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	391.57	37	8.51	1.25	10.64	8.51	1.25	10.64	139.01	7.65	7.65
7:30	394.55	39	8.64	1.27	10.97	9.37	1.28	11.99	140.07	7.83	8.56
8:00	469.08	39	9.81	1.45	14.22	12.53	1.58	19.80	166.52	8.54	11.89
8:30	536.16	46	11.43	1.69	19.32	11.89	1.73	20.57	190.34	10.15	10.81
9:00	573.42	49	12.44	1.84	22.89	13.24	1.96	25.95	203.56	11.24	12.75
9:30	688.19	43	14.56	2.15	31.30	15.23	2.27	34.57	244.31	12.81	14.15
10:00	779.12	41	15.62	2.3	35.93	16.94	2.41	40.83	276.59	12.99	14.76
10:30	776.14	50	15.58	2.31	35.99	16.22	2.41	39.09	275.53	13.06	14.19
11:00	776.14	49	15.58	2.3	35.83	16.33	2.41	39.36	275.53	13.01	14.28
11:30	849.18	48	16.57	2.45	40.60	17.1	2.53	43.26	301.46	13.47	14.35
12:00	774.65	52	15.54	2.3	35.74	16.38	2.42	39.64	275.00	13.00	14.41
12:30	206.74	46	4.88	0.73	3.56	4.45	0.64	2.85	73.39	4.85	3.88
13:00	463.12	52	9.76	1.45	14.15	10.03	1.47	14.74	164.41	8.61	8.97
13:30	382.63	44	8.44	1.26	10.63	8.62	1.26	10.86	135.83	7.83	8.00
14:00	670.31	49	13.94	2.06	28.72	13.68	2.18	29.82	237.96	12.07	12.53
14:30	577.89	48	12.49	1.85	23.11	12.91	1.91	24.66	205.15	11.26	12.02
15:00	83.02	38	2.12	0.32	0.68	2.98	0.31	0.92	29.47	2.30	3.13
15:30	69.61	37	1.97	0.3	0.59	2.03	0.28	0.57	24.71	2.39	2.30
16:00	59.18	36	1.24	0.19	0.24	1.59	0.18	0.29	21.01	1.12	1.36

Tabel B.4 Data Panel Surya Orientasi Utara Sudut 40°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	378.16	37	8.35	1.23	10.27	8.33	1.22	10.16	134.25	7.65	7.57
7:30	378.16	39	8.31	1.22	10.14	8.38	1.23	10.31	134.25	7.55	7.68
8:00	476.53	39	10.08	1.49	15.02	12.15	1.61	19.56	169.17	8.88	11.56
8:30	534.67	46	11.29	1.67	18.85	12.18	1.7	20.71	189.81	9.93	10.91
9:00	551.06	49	11.89	1.76	20.93	12.69	1.85	23.48	195.63	10.70	12.00
9:30	685.21	43	14.45	2.14	30.92	15.12	2.25	34.02	243.25	12.71	13.99
10:00	774.65	41	15.51	2.29	35.52	16.78	2.4	40.27	275.00	12.92	14.64
10:30	777.63	49	15.54	2.3	35.74	16.13	2.4	38.71	276.06	12.95	14.02
11:00	774.65	49	15.51	2.29	35.52	16.24	2.4	38.98	275.00	12.92	14.17
11:30	852.16	47	16.62	2.46	40.89	17.06	2.54	43.33	302.52	13.52	14.32
12:00	774.65	52	15.51	2.3	35.67	16.35	2.41	39.40	275.00	12.97	14.33
12:30	206.74	46	4.86	0.72	3.50	4.84	0.68	3.29	73.39	4.77	4.48
13:00	475.04	52	9.99	1.48	14.79	10.21	1.52	15.52	168.64	8.77	9.20
13:30	413.93	44	9.17	1.36	12.47	8.67	1.38	11.96	146.95	8.49	8.14
14:00	668.82	50	13.9	2.06	28.63	13.77	2.16	29.74	237.43	12.06	12.53
14:30	577.89	48	12.53	1.86	23.31	12.91	1.91	24.66	205.15	11.36	12.02
15:00	81.53	37	2.08	0.31	0.64	3.03	0.3	0.91	28.94	2.23	3.14
15:30	69.61	36	1.88	0.29	0.55	2.06	0.27	0.56	24.71	2.21	2.25
16:00	59.18	36	1.19	0.19	0.23	1.75	0.17	0.30	21.01	1.08	1.42

Tabel B.5 Data Panel Surya Orientasi Utara Sudut 50°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	361.76	37	7.96	1.17	9.31	7.91	1.16	9.18	128.42	7.25	7.14
7:30	349.84	40	7.85	1.16	9.11	8.35	1.16	9.69	124.19	7.33	7.80
8:00	483.99	39	10.25	1.51	15.48	12.95	1.63	21.11	171.82	9.01	12.29
8:30	524.23	46	10.96	1.62	17.76	11.76	1.64	19.29	186.10	9.54	10.36
9:00	546.59	50	11.69	1.73	20.22	11.4	1.81	20.63	194.04	10.42	10.63
9:30	673.29	44	14.17	2.09	29.62	14.81	2.2	32.58	239.02	12.39	13.63
10:00	723.97	41	15.18	2.24	34.00	16.59	2.35	38.99	257.01	13.23	15.17
10:30	773.16	50	15.31	2.27	34.75	15.85	2.36	37.41	274.47	12.66	13.63
11:00	773.16	49	15.38	2.28	35.07	16.04	2.37	38.01	274.47	12.78	13.85
11:30	849.18	48	16.55	2.45	40.55	17.06	2.53	43.16	301.46	13.45	14.32
12:00	773.16	52	15.34	2.27	34.82	16.2	2.39	38.72	274.47	12.69	14.11
12:30	205.25	47	4.77	0.71	3.39	4.75	0.67	3.18	72.86	4.65	4.37
13:00	536.16	51	11.45	1.7	19.47	11.69	1.74	20.34	190.34	10.23	10.69
13:30	478.02	45	10.12	1.5	15.18	9.68	1.5	14.52	169.70	8.95	8.56
14:00	661.36	49	13.7	2.03	27.81	13.5	2.13	28.76	234.78	11.85	12.25
14:30	573.42	48	12.42	1.84	22.85	12.66	1.87	23.67	203.56	11.23	11.63
15:00	80.04	37	1.93	0.3	0.58	2.25	0.28	0.63	28.42	2.04	2.22
15:30	69.61	37	1.75	0.26	0.46	1.75	0.25	0.44	24.71	1.84	1.77
16:00	59.18	36	1.1	0.17	0.19	1.55	0.16	0.25	21.01	0.89	1.18

Tabel B.6 Data Panel Surya Orientasi Timur Sudut 10°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	406.39	36	8.8	1.32	11.62	10.26	1.36	13.95	144.27	8.05	9.67
7:30	413.84	37	9.04	1.39	12.57	10.23	1.41	14.42	146.91	8.55	9.82
8:00	527.12	41	11.05	1.63	18.01	11.69	1.69	19.76	187.13	9.63	10.56
8:30	556.93	46	12.05	1.81	21.81	13.13	1.92	25.21	197.71	11.03	12.75
9:00	591.22	48	12.76	1.91	24.37	13.65	1.98	27.03	209.88	11.61	12.88
9:30	676.18	42	14.22	2.13	30.29	14.86	2.26	33.58	240.04	12.62	13.99
10:00	774.56	40	15.56	2.29	35.63	16.18	2.4	38.83	274.97	12.96	14.12
10:30	740.27	50	15.27	2.26	34.51	16.02	2.37	37.97	262.80	13.13	14.45
11:00	773.07	50	15.31	2.26	34.60	16.21	2.38	38.58	274.44	12.61	14.06
11:30	783.50	48	15.76	2.33	36.72	16.31	2.43	39.63	278.14	13.20	14.25
12:00	704.50	52	14.96	2.22	33.21	15.67	2.36	36.98	250.10	13.28	14.79
12:30	206.65	47	4.69	0.7	3.28	4.67	0.67	3.13	73.36	4.48	4.27
13:00	685.12	52	14.45	2.14	30.92	15.23	2.28	34.72	243.22	12.71	14.28
13:30	349.75	44	7.87	1.17	9.21	7.29	1.16	8.46	124.16	7.42	6.81
14:00	413.84	49	9.14	1.35	12.34	9.14	1.35	12.34	146.91	8.40	8.40
14:30	483.90	48	10.23	1.52	15.55	10.41	1.51	15.72	171.78	9.05	9.15
15:00	82.93	37	2.1	0.32	0.67	2.1	0.31	0.65	29.44	2.28	2.21
15:30	69.52	37	1.83	0.28	0.51	1.83	0.27	0.49	24.68	2.08	2.00
16:00	53.12	36	1.24	0.19	0.24	1.26	0.18	0.23	18.86	1.25	1.20

Tabel B.7 Data Panel Surya Orientasi Timur Sudut 20°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	413.93	37	9.02	1.46	13.17	9.67	1.58	15.28	146.95	8.96	10.40
7:30	483.99	38	10.22	1.49	15.23	11.54	1.69	19.50	171.82	8.86	11.35
8:00	555.53	42	12.07	1.77	21.36	12.84	1.86	23.88	197.21	10.83	12.11
8:30	577.89	46	12.54	1.89	23.70	13.64	1.98	27.01	205.15	11.55	13.16
9:00	595.78	48	12.84	1.92	24.65	13.67	2.08	28.43	211.50	11.66	13.44
9:30	692.67	42	14.61	2.19	32.00	15.62	2.32	36.24	245.90	13.01	14.74
10:00	783.59	40	15.68	2.28	35.75	16.21	2.35	38.09	278.17	12.85	13.69
10:30	740.36	51	15.29	2.27	34.71	16.07	2.34	37.60	262.83	13.21	14.31
11:00	740.36	50	15.29	2.26	34.56	16.06	2.31	37.10	262.83	13.15	14.12
11:30	810.42	48	16.04	2.37	38.01	16.32	2.42	39.49	287.70	13.21	13.73
12:00	697.14	53	14.76	2.19	32.32	15.51	2.33	36.14	247.48	13.06	14.60
12:30	199.29	47	4.57	0.68	3.11	4.5	0.65	2.93	70.75	4.39	4.13
13:00	676.27	53	14.21	2.11	29.98	14.96	2.24	33.51	240.08	12.49	13.96
13:30	337.91	44	7.58	1.13	8.57	7.12	1.1	7.83	119.96	7.14	6.53
14:00	333.44	48	7.52	1.12	8.42	7.45	1.1	8.20	118.37	7.12	6.92
14:30	440.76	47	9.49	1.41	13.38	9.42	1.4	13.19	156.47	8.55	8.43
15:00	80.04	38	2.06	0.31	0.64	2.08	0.3	0.62	28.42	2.25	2.20
15:30	69.61	36	1.77	0.27	0.48	1.77	0.26	0.46	24.71	1.93	1.86
16:00	53.21	36	1.17	0.18	0.21	1.19	0.17	0.20	18.89	1.11	1.07

Tabel B.8 Data Panel Surya Orientasi Timur Sudut 30°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	478.02	37	10.06	1.49	14.99	10.79	1.71	18.45	169.70	8.83	10.87
7:30	527.21	37	11.12	1.68	18.68	11.45	1.72	19.69	187.16	9.98	10.52
8:00	557.02	42	13.04	1.92	25.04	13.86	2.03	28.14	197.74	12.66	14.23
8:30	618.14	46	13.35	1.95	26.03	14.24	2.08	29.62	219.44	11.86	13.50
9:00	643.48	48	13.56	1.98	26.85	14.44	2.18	31.48	228.43	11.75	13.78
9:30	704.59	43	14.99	2.26	33.88	15.23	2.36	35.94	250.13	13.54	14.37
10:00	801.48	40	15.98	2.36	37.71	16.58	2.42	40.12	284.52	13.25	14.10
10:30	726.95	51	15.2	2.25	34.20	15.71	2.28	35.82	258.07	13.25	13.88
11:00	723.97	50	15.18	2.25	34.16	15.71	2.28	35.82	257.01	13.29	13.94
11:30	783.59	48	15.78	2.34	36.93	16.38	2.43	39.80	278.17	13.27	14.31
12:00	685.21	52	14.43	2.14	30.88	15.18	2.29	34.76	243.25	12.69	14.29
12:30	191.84	47	4.35	0.65	2.83	4.33	0.63	2.73	68.10	4.15	4.01
13:00	628.57	52	13.46	2	26.92	14.03	2.42	33.95	223.14	12.06	15.22
13:30	293.19	44	6.78	1	6.78	6.76	0.98	6.62	104.08	6.51	6.36
14:00	281.27	49	6.42	0.95	6.10	6.28	0.93	5.84	99.85	6.11	5.85
14:30	357.29	47	7.74	1.15	8.90	7.41	1.12	8.30	126.84	7.02	6.54
15:00	80.04	37	1.97	0.3	0.59	1.97	0.29	0.57	28.42	2.08	2.01
15:30	69.61	36	1.66	0.25	0.42	1.64	0.24	0.39	24.71	1.68	1.59
16:00	53.21	36	1.08	0.17	0.18	1.13	0.16	0.18	18.89	0.97	0.96

Tabel B.9 Data Panel Surya Orientasi Timur Sudut 40°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	476.53	38	10.03	1.71	17.15	10.4	1.85	19.24	169.17	10.14	11.37
7:30	555.53	38	11.91	1.81	21.56	12.07	1.81	21.85	197.21	10.93	11.08
8:00	665.84	42	13.88	2.04	28.32	14.65	2.16	31.64	236.37	11.98	13.39
8:30	668.82	45	13.94	2.1	29.27	15.28	2.24	34.23	237.43	12.33	14.42
9:00	685.21	47	14.48	2.14	30.99	15.23	2.3	35.03	243.25	12.74	14.40
9:30	786.57	42	15.18	2.26	34.31	15.72	2.38	37.41	279.23	12.29	13.40
10:00	801.48	41	15.98	2.35	37.55	16.78	2.46	41.28	284.52	13.20	14.51
10:30	712.04	51	15.01	2.22	33.32	15.62	2.34	36.55	252.78	13.18	14.46
11:00	712.04	49	15.05	2.23	33.56	15.62	2.33	36.39	252.78	13.28	14.40
11:30	774.65	48	15.49	2.29	35.47	16.18	2.39	38.67	275.00	12.90	14.06
12:00	668.82	53	13.92	2.06	28.68	14.67	2.21	32.42	237.43	12.08	13.65
12:30	187.36	46	4.15	0.62	2.57	4.18	0.6	2.51	66.51	3.87	3.77
13:00	534.67	52	11.38	1.69	19.23	11.87	1.76	20.89	189.81	10.13	11.01
13:30	269.35	44	5.93	0.88	5.22	5.99	0.86	5.15	95.62	5.46	5.39
14:00	269.35	48	5.91	0.88	5.20	5.75	0.85	4.89	95.62	5.44	5.11
14:30	208.23	47	6.53	1.03	6.73	6.21	0.98	6.09	73.92	9.10	8.23
15:00	80.04	38	1.97	0.3	0.59	1.97	0.29	0.57	28.42	2.08	2.01
15:30	69.61	37	1.57	0.24	0.38	1.57	0.23	0.36	24.71	1.52	1.46
16:00	53.21	36	1.04	0.16	0.17	1.06	0.16	0.17	18.89	0.88	0.90

Tabel B.10 Data Panel Surya Orientasi Timur Sudut 50°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	475.04	38	9.93	1.92	19.07	10.2	1.97	20.09	168.64	11.31	11.92
7:30	604.72	28	13.02	1.91	24.87	11.36	1.67	18.97	214.68	11.58	8.84
8:00	685.21	41	14.45	2.13	30.78	15.27	2.25	34.36	243.25	12.65	14.12
8:30	726.95	46	14.7	2.15	31.61	15.76	2.28	35.93	258.07	12.25	13.92
9:00	692.67	47	14.63	2.16	31.60	15.21	2.33	35.44	245.90	12.85	14.41
9:30	783.59	42	15.78	2.33	36.77	16.18	2.44	39.48	278.17	13.22	14.19
10:00	786.57	41	15.87	2.34	37.14	16.54	2.43	40.19	279.23	13.30	14.39
10:30	692.67	51	14.59	2.16	31.51	15.18	2.26	34.31	245.90	12.82	13.95
11:00	688.19	46	14.5	2.15	31.18	15.15	2.25	34.09	244.31	12.76	13.95
11:30	685.21	49	14.43	2.14	30.88	15.18	2.24	34.00	243.25	12.69	13.98
12:00	601.74	52	12.93	1.92	24.83	13.57	2.04	27.68	213.62	11.62	12.96
12:30	185.87	47	3.89	0.58	2.26	3.82	0.56	2.14	65.99	3.42	3.24
13:00	343.87	52	7.69	1.15	8.84	7.85	1.14	8.95	122.08	7.24	7.33
13:30	217.18	44	5.07	0.75	3.80	4.97	0.73	3.63	77.10	4.93	4.71
14:00	217.18	48	5.07	0.75	3.80	4.92	0.73	3.59	77.10	4.93	4.66
14:30	194.82	47	4.45	0.66	2.94	4.46	0.62	2.77	69.16	4.25	4.00
15:00	78.55	38	1.88	0.28	0.53	1.88	0.27	0.51	27.89	1.89	1.82
15:30	69.61	37	1.37	0.21	0.29	1.39	0.2	0.28	24.71	1.16	1.12
16:00	53.21	35	0.93	0.14	0.13	0.95	0.14	0.13	18.89	0.69	0.70

Tabel B.11 Data Panel Surya Orientasi Selatan Sudut 10°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	398.93	39	8.69	1.28	11.12	9.172	1.26	11.56	141.62	7.85	8.16
7:30	410.86	37	8.95	1.32	11.81	8.77	1.29	11.31	145.85	8.10	7.76
8:00	477.93	41	9.99	1.47	14.69	12.02	1.47	17.67	169.67	8.66	10.41
8:30	533.09	44	11.49	1.7	19.53	12.95	1.71	22.14	189.25	10.32	11.70
9:00	556.93	44	12.07	1.78	21.48	12.76	1.87	23.86	197.71	10.87	12.07
9:30	661.27	42	13.88	2.05	28.45	14.23	2.14	30.45	234.75	12.12	12.97
10:00	692.58	41	14.65	2.16	31.64	15.34	2.26	34.67	245.86	12.87	14.10
10:30	704.50	50	14.92	2.21	32.97	15.69	2.31	36.24	250.10	13.18	14.49
11:00	700.03	46	14.83	2.19	32.48	15.58	2.3	35.83	248.51	13.07	14.42
11:30	773.07	47	15.47	2.29	35.43	15.87	2.39	37.93	274.44	12.91	13.82
12:00	697.05	51	14.78	2.19	32.37	15.65	2.35	36.78	247.45	13.08	14.86
12:30	211.12	45	4.88	0.73	3.56	4.98	0.71	3.54	74.95	4.75	4.72
13:00	662.76	51	13.99	2.07	28.96	13.77	2.22	30.57	235.28	12.31	12.99
13:30	279.69	42	6.34	0.94	5.96	6.56	0.95	6.23	99.29	6.00	6.28
14:00	309.50	47	6.95	1.03	7.16	7.05	1.02	7.19	109.87	6.52	6.54
14:30	413.84	47	9.15	1.36	12.44	9.86	1.47	14.49	146.91	8.47	9.87
15:00	96.35	35	2.29	0.33	0.76	2.39	0.32	0.76	34.20	2.21	2.24
15:30	69.52	36	1.88	0.28	0.53	2.08	0.27	0.56	24.68	2.13	2.28
16:00	56.10	35	1.28	0.2	0.26	1.28	0.19	0.24	19.92	1.29	1.22

Tabel B.12 Data Panel Surya Orientasi Selatan Sudut 20°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	382.63	40	8.4	1.23	10.33	8.61	1.21	10.42	135.83	7.61	7.67
7:30	378.16	38	8.38	1.23	10.31	8.13	1.19	9.67	134.25	7.68	7.21
8:00	452.68	41	9.66	1.42	13.72	9.83	1.41	13.86	160.70	8.54	8.62
8:30	531.68	45	11.2	1.65	18.48	12.4	1.66	20.58	188.75	9.79	10.91
9:00	540.63	43	11.62	1.72	19.99	12.31	1.79	22.03	191.92	10.41	11.48
9:30	618.14	42	13.3	1.97	26.20	13.68	2	27.81	219.44	11.94	12.67
10:00	676.27	41	14.21	2.1	29.84	14.83	2.19	32.48	240.08	12.43	13.53
10:30	688.19	50	14.56	2.16	31.45	15.2	2.25	34.20	244.31	12.87	14.00
11:00	685.21	46	14.48	2.14	30.99	15.18	2.24	34.00	243.25	12.74	13.98
11:30	774.65	48	15.56	2.3	35.79	15.78	2.39	37.71	275.00	13.01	13.71
12:00	673.29	51	14.12	2.1	29.65	15.05	2.26	34.01	239.02	12.41	14.23
12:30	205.25	45	4.71	0.7	3.30	4.81	0.68	3.27	72.86	4.52	4.49
13:00	665.84	51	13.83	2.05	28.35	14.34	2.18	31.26	236.37	11.99	13.23
13:30	275.31	42	6.26	0.93	5.82	6.39	0.92	5.88	97.73	5.96	6.02
14:00	293.19	47	6.59	0.98	6.46	6.73	0.97	6.53	104.08	6.20	6.27
14:30	361.76	47	7.89	1.17	9.23	8.99	1.37	12.32	128.42	7.19	9.59
15:00	83.02	35	2.17	0.33	0.72	2.36	0.31	0.73	29.47	2.43	2.48
15:30	69.61	36	1.83	0.28	0.51	2.03	0.27	0.55	24.71	2.07	2.22
16:00	56.19	34	1.26	0.19	0.24	1.3	0.19	0.25	19.95	1.20	1.24

Tabel B.13 Data Panel Surya Orientasi Selatan Sudut 30°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	364.74	40	8.02	1.18	9.46	8.22	1.14	9.37	129.48	7.31	7.24
7:30	349.84	37	7.8	1.15	8.97	7.87	1.1	8.66	124.19	7.22	6.97
8:00	419.89	41	9.22	1.36	12.54	9.28	1.34	12.44	149.06	8.41	8.34
8:30	489.95	46	10.39	1.53	15.90	11.4	1.52	17.33	173.93	9.14	9.96
9:00	525.72	43	11.03	1.63	17.98	11.81	1.68	19.84	186.63	9.63	10.63
9:30	595.78	42	12.8	1.89	24.19	13.15	1.93	25.38	211.50	11.44	12.00
10:00	628.57	41	13.48	1.99	26.83	14.04	2.06	28.92	223.14	12.02	12.96
10:30	656.89	50	13.61	2.02	27.49	14.71	2.11	31.04	233.20	11.79	13.31
11:00	656.89	45	13.66	2.02	27.59	14.28	2.11	30.13	233.20	11.83	12.92
11:30	697.14	47	14.83	2.2	32.63	15.03	2.29	34.42	247.48	13.18	13.91
12:00	618.14	51	13.37	1.99	26.61	14.3	2.15	30.75	219.44	12.12	14.01
12:30	199.29	46	4.53	0.68	3.08	4.63	0.66	3.06	70.75	4.35	4.32
13:00	591.31	51	12.75	1.89	24.10	13.28	1.98	26.29	209.91	11.48	12.53
13:30	261.89	42	5.82	0.87	5.06	5.88	0.84	4.94	92.97	5.45	5.31
14:00	272.33	46	6.12	0.91	5.57	6.15	0.88	5.41	96.68	5.76	5.60
14:30	367.72	47	8.1	1.2	9.72	8.15	1.17	9.54	130.54	7.45	7.30
15:00	83.02	36	2.1	0.32	0.67	2.28	0.3	0.68	29.47	2.28	2.32
15:30	69.61	36	1.79	0.27	0.48	1.99	0.26	0.52	24.71	1.96	2.09
16:00	56.19	35	1.24	0.19	0.24	1.26	0.18	0.23	19.95	1.18	1.14

Tabel B.14 Data Panel Surya Orientasi Selatan Sudut 40°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	333.44	40	7.49	1.1	8.24	7.98	1.06	8.46	118.37	6.96	7.15
7:30	317.04	38	7.01	1.03	7.22	6.63	0.98	6.50	112.55	6.42	5.77
8:00	399.02	41	8.69	1.28	11.12	9.06	1.24	11.23	141.65	7.85	7.93
8:30	440.76	46	9.44	1.39	13.12	10.54	1.35	14.23	156.47	8.39	9.09
9:00	476.53	43	10.01	1.48	14.81	10.86	1.51	16.40	169.17	8.76	9.69
9:30	539.14	41	11.54	1.71	19.73	11.58	1.71	19.80	191.39	10.31	10.35
10:00	586.84	42	12.66	1.87	23.67	13.02	1.92	25.00	208.33	11.36	12.00
10:30	573.42	49	12.44	1.85	23.01	13.72	1.9	26.07	203.56	11.31	12.81
11:00	577.89	46	12.55	1.86	23.34	12.97	1.92	24.90	205.15	11.38	12.14
11:30	668.82	47	13.92	2.06	28.68	13.02	2.15	27.99	237.43	12.08	11.79
12:00	577.89	50	12.57	1.87	23.51	13.39	2.02	27.05	205.15	11.46	13.18
12:30	191.84	45	4.35	0.65	2.83	4.43	0.63	2.79	68.10	4.15	4.10
13:00	546.59	51	11.69	1.74	20.34	11.47	1.81	20.76	194.04	10.48	10.70
13:30	232.08	42	5.41	0.81	4.38	5.48	0.78	4.27	82.39	5.32	5.19
14:00	261.89	47	5.79	0.85	4.92	5.87	0.83	4.87	92.97	5.29	5.24
14:30	309.59	47	6.91	1.03	7.12	6.92	0.98	6.78	109.90	6.48	6.17
15:00	80.04	36	2.01	0.3	0.60	2.19	0.29	0.64	28.42	2.12	2.24
15:30	69.61	35	1.7	0.26	0.44	2.19	0.25	0.55	24.71	1.79	2.22
16:00	56.19	35	1.19	0.19	0.23	1.24	0.18	0.22	19.95	1.13	1.12

Tabel B.15 Data Panel Surya Orientasi Selatan Sudut 50°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	303.63	41	6.83	1.01	6.90	8.38	0.96	8.04	107.79	6.40	7.46
7:30	272.33	38	6.14	0.91	5.59	5.77	0.86	4.96	96.68	5.78	5.13
8:00	361.76	42	7.96	1.17	9.31	9.02	1.12	10.10	128.42	7.25	7.87
8:30	394.55	45	8.64	1.28	11.06	9.77	1.22	11.92	140.07	7.90	8.51
9:00	410.95	43	8.93	1.32	11.79	8.88	1.33	11.81	145.89	8.08	8.10
9:30	483.99	41	10.23	1.51	15.45	10.3	1.49	15.35	171.82	8.99	8.93
10:00	546.59	42	11.76	1.74	20.46	12.27	1.76	21.60	194.04	10.55	11.13
10:30	513.80	48	10.85	1.61	17.47	11.66	1.63	19.01	182.40	9.58	10.42
11:00	527.21	45	11.09	1.65	18.30	11.2	1.66	18.59	187.16	9.78	9.93
11:30	577.89	48	12.57	1.87	23.51	11.03	1.93	21.29	205.15	11.46	10.38
12:00	524.23	43	10.9	1.62	17.66	11.43	1.71	19.55	186.10	9.49	10.50
12:30	185.87	46	4.04	0.61	2.46	4.5	0.57	2.57	65.99	3.73	3.89
13:00	440.76	51	9.39	1.41	13.24	9.24	1.39	12.84	156.47	8.46	8.21
13:30	203.76	42	4.66	0.69	3.22	4.71	0.66	3.11	72.33	4.45	4.30
14:00	206.74	46	4.86	0.73	3.55	4.88	0.69	3.37	73.39	4.83	4.59
14:30	217.18	47	5.05	0.75	3.79	5.04	0.7	3.53	77.10	4.91	4.58
15:00	80.04	36	1.83	0.28	0.51	2.03	0.27	0.55	28.42	1.80	1.93
15:30	69.61	36	1.57	0.24	0.38	2.01	0.23	0.46	24.71	1.52	1.87
16:00	56.19	35	1.13	0.17	0.19	1.15	0.17	0.20	19.95	0.96	0.98

Tabel B.16 Data Panel Surya Orientasi Barat Sudut 10°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	333.35	41	7.49	1.11	8.31	7.21	1.06	7.64	118.34	7.03	6.46
7:30	483.90	39	8.22	1.21	9.95	7.96	1.17	9.31	171.78	5.79	5.42
8:00	483.90	43	8.24	1.22	10.05	8.55	1.17	10.00	171.78	5.85	5.82
8:30	513.71	48	10.86	1.23	13.36	11.09	1.46	16.19	182.37	7.32	8.88
9:00	528.61	44	11.4	1.69	19.27	11.16	1.74	19.42	187.66	10.27	10.35
9:30	628.48	41	13.39	1.98	26.51	13.9	2.06	28.63	223.11	11.88	12.83
10:00	676.18	44	14.23	2.1	29.88	13.17	2.19	28.84	240.04	12.45	12.02
10:30	704.50	48	14.92	2.21	32.97	15.51	2.31	35.83	250.10	13.18	14.33
11:00	723.88	45	15.14	2.24	33.91	16.2	2.34	37.91	256.98	13.20	14.75
11:30	586.75	50	12.64	1.79	22.63	14.59	1.84	26.85	208.29	10.86	12.89
12:00	740.27	53	15.29	2.27	34.71	16.33	2.41	39.36	262.80	13.21	14.98
12:30	217.09	46	5.11	0.76	3.88	4.99	0.74	3.69	77.07	5.04	4.79
13:00	612.09	52	13.24	1.96	25.95	13.64	2.1	28.64	217.29	11.94	13.18
13:30	303.54	43	6.88	1.02	7.02	7.03	1.02	7.17	107.76	6.51	6.65
14:00	527.12	46	11.14	1.65	18.38	11.49	1.76	20.22	187.13	9.82	10.81
14:30	527.12	46	11.18	1.66	18.56	11.65	1.71	19.92	187.13	9.92	10.65
15:00	97.84	37	2.3	0.35	0.81	2.28	0.33	0.75	34.73	2.32	2.17
15:30	78.46	36	1.88	0.28	0.53	2.1	0.27	0.57	27.85	1.89	2.04
16:00	57.59	35	1.3	0.2	0.26	1.33	0.19	0.25	20.45	1.27	1.24

Tabel B.17 Data Panel Surya Orientasi Barat Sudut 20°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	185.87	41	3.96	0.58	2.30	3.47	0.51	1.77	65.99	3.48	2.68
7:30	279.78	39	6.3	0.93	5.86	6.25	0.86	5.38	99.32	5.90	5.41
8:00	321.52	44	7.05	1.04	7.33	8.73	0.98	8.56	114.14	6.42	7.50
8:30	391.57	48	8.55	1.27	10.86	10.1	1.29	13.03	139.01	7.81	9.37
9:00	489.95	44	10.39	1.54	16.00	10.23	1.56	15.96	173.93	9.20	9.18
9:30	573.42	42	12.46	1.82	22.68	12.24	1.88	23.01	203.56	11.14	11.30
10:00	656.89	44	13.64	2.01	27.42	13.75	2.09	28.74	233.20	11.76	12.32
10:30	697.14	48	14.72	2.18	32.09	15.34	2.28	34.98	247.48	12.97	14.13
11:00	704.59	45	14.94	2.21	33.02	16.3	2.31	37.65	250.13	13.20	15.05
11:30	512.31	50	10.74	1.6	17.18	11.12	1.67	18.57	181.87	9.45	10.21
12:00	740.36	53	15.29	2.27	34.71	16.33	2.41	39.36	262.83	13.21	14.97
12:30	226.12	46	5.19	0.77	4.00	5.06	0.75	3.80	80.27	4.98	4.73
13:00	586.84	52	12.66	1.88	23.80	13.02	2.02	26.30	208.33	11.42	12.62
13:30	318.53	43	7.03	1.04	7.31	7.16	1.04	7.45	113.08	6.47	6.59
14:00	539.14	46	11.51	1.71	19.68	11.89	1.76	20.93	191.39	10.28	10.93
14:30	539.14	46	11.51	1.71	19.68	12.02	1.77	21.28	191.39	10.28	11.12
15:00	97.93	37	2.36	0.35	0.83	2.28	0.34	0.78	34.77	2.38	2.23
15:30	78.55	36	1.9	0.29	0.55	2.12	0.28	0.59	27.89	1.98	2.13
16:00	57.68	35	1.37	0.21	0.29	1.37	0.19	0.26	20.48	1.40	1.27

Tabel B.18 Data Panel Surya Orientasi Barat Sudut 30°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	117.31	42	2.63	0.39	1.03	2.23	0.34	0.76	41.64	2.46	1.82
7:30	203.76	39	4.66	0.69	3.22	4.02	0.62	2.49	72.33	4.45	3.45
8:00	232.08	43	5.44	0.81	4.41	6.7	0.74	4.96	82.39	5.35	6.02
8:30	330.46	48	7.4	1.1	8.14	8.04	1.04	8.36	117.31	6.94	7.13
9:00	410.95	44	8.91	1.32	11.76	8.88	1.31	11.63	145.89	8.06	7.97
9:30	527.21	43	11.18	1.66	18.56	10.98	1.68	18.45	187.16	9.92	9.86
10:00	573.42	44	12.42	1.83	22.73	12.14	1.88	22.82	203.56	11.17	11.21
10:30	676.27	48	14.23	2.11	30.03	14.78	2.21	32.66	240.08	12.51	13.61
11:00	688.19	45	14.52	2.15	31.22	15.12	2.24	33.87	244.31	12.78	13.86
11:30	604.72	50	13.02	1.93	25.13	13.76	2.09	28.76	214.68	11.71	13.40
12:00	723.97	52	15.16	2.25	34.11	16.27	2.4	39.05	257.01	13.27	15.19
12:30	226.12	46	5.22	0.78	4.07	5.09	0.75	3.82	80.27	5.07	4.76
13:00	586.84	52	12.66	1.88	23.80	12.91	1.98	25.56	208.33	11.42	12.27
13:30	321.52	43	7.17	1.06	7.60	7.25	1.05	7.61	114.14	6.66	6.67
14:00	428.84	47	9.32	1.43	13.33	9.87	1.44	14.21	152.24	8.75	9.34
14:30	551.06	46	11.8	1.75	20.65	12.31	1.81	22.28	195.63	10.56	11.39
15:00	97.93	37	2.36	0.36	0.85	2.53	0.33	0.83	34.77	2.44	2.40
15:30	78.55	36	1.9	0.29	0.55	2.1	0.28	0.59	27.89	1.98	2.11
16:00	57.68	35	1.39	0.21	0.29	1.37	0.19	0.26	20.48	1.43	1.27

Tabel B.19 Data Panel Surya Orientasi Barat Sudut 40°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	117.31	42	2.52	0.38	0.96	2.14	0.32	0.68	41.64	2.30	1.64
7:30	129.23	41	2.96	0.44	1.30	4.44	0.38	1.69	45.88	2.84	3.68
8:00	139.67	43	3.38	0.5	1.69	3.03	0.45	1.36	49.58	3.41	2.75
8:30	217.18	48	5.13	0.76	3.90	6.81	0.69	4.70	77.10	5.06	6.09
9:00	309.59	43	6.9	1.02	7.04	6.78	0.97	6.58	109.90	6.40	5.98
9:30	428.84	43	9.33	1.38	12.88	9.13	1.37	12.51	152.24	8.46	8.22
10:00	527.21	44	11.07	1.64	18.15	10.63	1.66	17.65	187.16	9.70	9.43
10:30	540.63	48	13.64	2.02	27.55	13.99	2.11	29.52	191.92	14.36	15.38
11:00	670.31	45	13.99	2.07	28.96	14.2	2.16	30.67	237.96	12.17	12.89
11:30	697.14	50	14.7	2.17	31.90	15.07	2.28	34.36	247.48	12.89	13.88
12:00	712.04	53	15.07	2.23	33.61	16.15	2.39	38.60	252.78	13.29	15.27
12:30	217.18	47	5.17	0.77	3.98	5.04	0.75	3.78	77.10	5.16	4.90
13:00	604.72	52	13.08	1.94	25.38	13.58	2.09	28.38	214.68	11.82	13.22
13:30	428.84	44	9.29	1.38	12.82	9.37	1.37	12.84	152.24	8.42	8.43
14:00	399.02	47	8.72	1.3	11.34	8.96	1.3	11.65	141.65	8.00	8.22
14:30	539.14	46	11.54	1.71	19.73	11.93	1.76	21.00	191.39	10.31	10.97
15:00	97.93	37	2.34	0.35	0.82	2.21	0.32	0.71	34.77	2.36	2.03
15:30	78.55	36	1.88	0.28	0.53	2.08	0.27	0.56	27.89	1.89	2.01
16:00	57.68	35	1.39	0.21	0.29	1.33	0.19	0.25	20.48	1.43	1.23

Tabel B.20 Data Panel Surya Orientasi Barat Sudut 50°

Waktu (WIB)	Radiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Monocrystalline			Polycrystalline			Daya Masukan (W)	Efisiensi	
			Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)		Mono (%)	Poly (%)
7:00	69.61	42	1.72	0.26	0.45	1.64	0.24	0.39	24.71	1.81	1.59
7:30	69.61	41	1.79	0.27	0.48	3.67	0.25	0.92	24.71	1.96	3.71
8:00	80.04	43	2.06	0.31	0.64	3.34	0.28	0.94	28.42	2.25	3.29
8:30	130.72	48	3.01	0.46	1.38	4.75	0.41	1.95	46.41	2.98	4.20
9:00	206.74	43	4.8	0.71	3.41	5.17	0.65	3.36	73.39	4.64	4.58
9:30	327.48	44	7.34	1.09	8.00	7.51	1.04	7.81	116.25	6.88	6.72
10:00	410.95	44	9.03	1.33	12.01	9.03	1.31	11.83	145.89	8.23	8.11
10:30	577.89	48	12.51	1.85	23.14	12.95	1.92	24.86	205.15	11.28	12.12
11:00	595.78	45	12.84	1.9	24.40	13.26	1.97	26.12	211.50	11.53	12.35
11:30	469.08	50	9.81	1.46	14.32	9.93	1.49	14.80	166.52	8.60	8.89
12:00	688.19	53	14.54	2.16	31.41	15.67	2.31	36.20	244.31	12.86	14.82
12:30	217.18	46	5.04	0.75	3.78	4.86	0.72	3.50	77.10	4.90	4.54
13:00	643.48	51	13.48	2.15	28.98	13.78	2.3	31.69	228.43	12.69	13.87
13:30	321.52	44	7.26	1.08	7.84	1.21	1.05	1.27	114.14	6.87	1.11
14:00	372.19	47	8.19	1.22	9.99	8.39	1.22	10.24	132.13	7.56	7.75
14:30	540.63	47	11.58	1.72	19.92	11.82	1.76	20.80	191.92	10.38	10.84
15:00	91.97	37	2.25	0.34	0.77	2.03	0.3	0.61	32.65	2.34	1.87
15:30	78.55	37	1.79	0.27	0.48	2.01	0.23	0.46	27.89	1.73	1.66
16:00	57.68	35	1.39	0.21	0.29	1.28	0.18	0.23	20.48	1.43	1.13

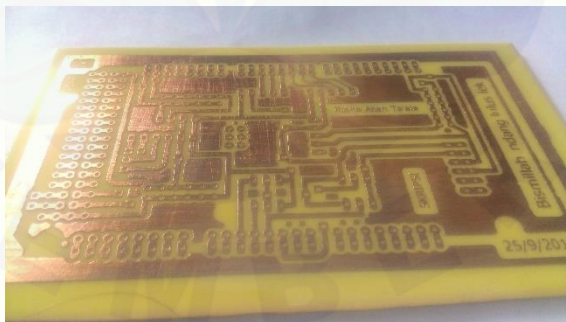
C. Dokumentasi Penelitian



Gambar C.1 Proses Pengelasan Rangka Panel Surya



Gambar C.2 Proses Pemberian Cat Pada Rangka



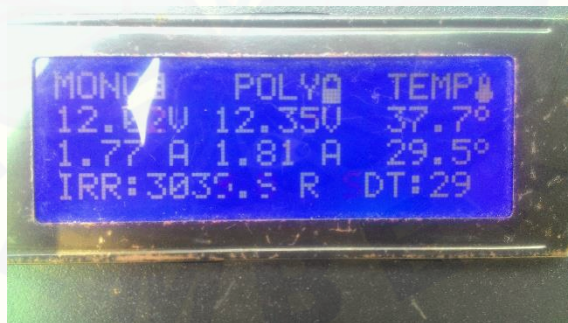
Gambar C.3 Layout Datalogger



Gambar C.4 Proses Pemasangan Sensor Pada Datalogger



Gambar C.5 Proses Kalibrasi Sensor



Gambar C.6 Proses Pengambilan Data Menggunakan Datalogger