



**RANCANG BANGUN SISTEM PENDAYAAN ENERGI
LISTRIK PADA RUMAH KACA MENGGUNAKAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Irvan
NIM 141910201098**

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



**RANCANG BANGUN SISTEM PENDAYAAN ENERGI
LISTRIK PADA RUMAH KACA MENGGUNAKAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

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

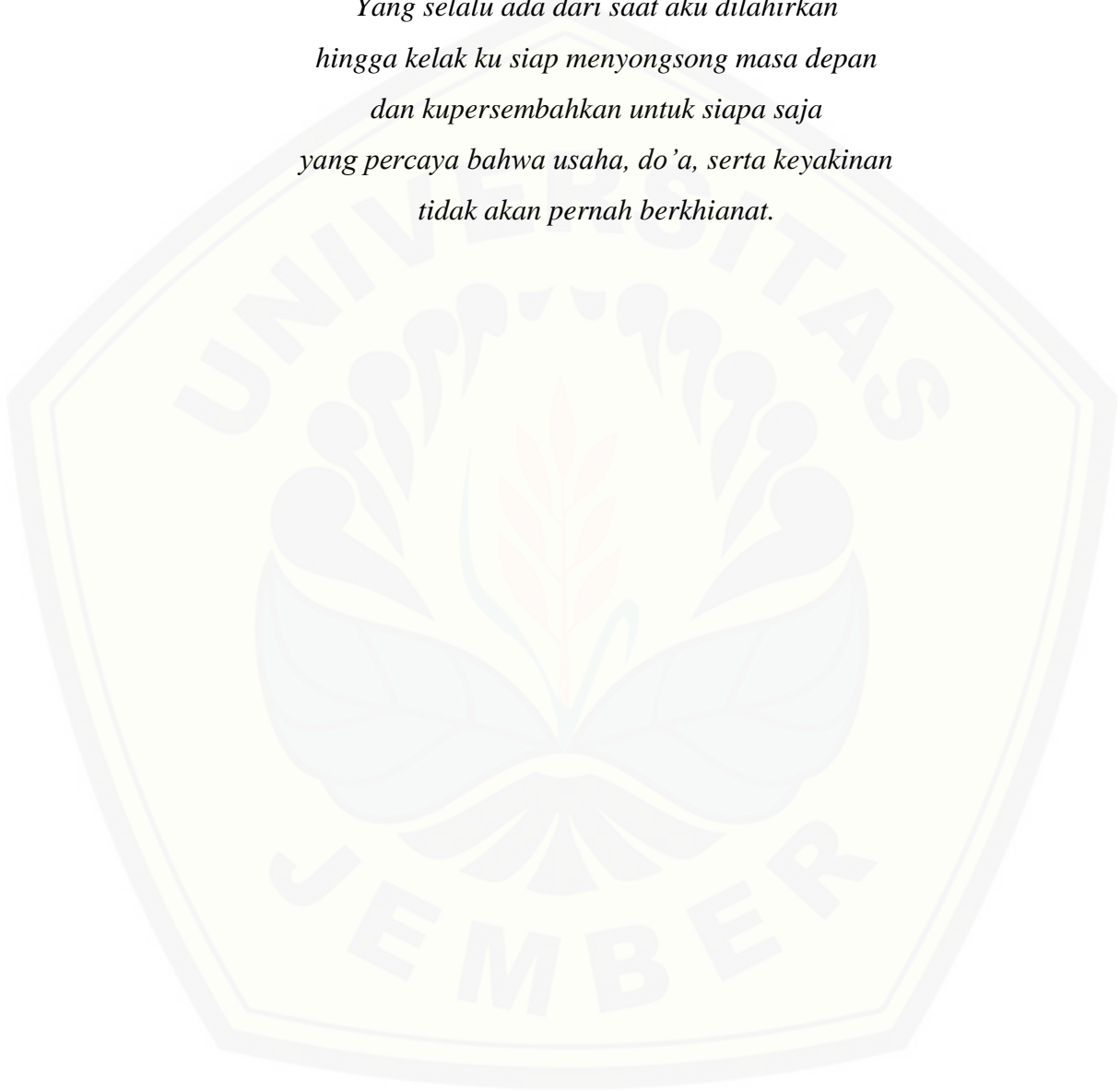
Oleh

**Muhammad Irvan
NIM 141910201098**

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

PERSEMBAHAN

*Skripsi ini kupersembahkan
Teruntuk malaikat tanpa sayap
Yang selalu ada dari saat aku dilahirkan
hingga kelak ku siap menyongsong masa depan
dan kupersembahkan untuk siapa saja
yang percaya bahwa usaha, do'a, serta keyakinan
tidak akan pernah berkhianat.*



MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا...

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya ..."

(Q.S. Al-Baqarah 2: 286)

...لَا تَحْزَنَ إِنَّ اللَّهَ مَعَنَا...

"...Janganlah kamu berduka cita, sesungguhnya Allah beserta kita..."

(Q.S. At-Taubah 9:40)

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan"

(Q.S. Al-Insyirah 94: 6)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Irvan

NIM : 141910201098

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “*Rancang Bangun Sistem Pendayaan Energi Listrik pada Rumah Kaca Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia menerima sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan di kemudian hari pernyataan ini tidak benar

Jember, 25 Juli 2018

Yang Menyatakan,

Muhammad Irvan

141910201098

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDAYAAN ENERGI
LISTRIK PADA RUMAH KACA MENGGUNAKAN
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

Oleh
Muhammad Irvan
NIM 141910201098

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M.
Dosen Pembimbing Anggota : Sumardi S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendayaan Energi Listrik pada Rumah Kaca Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Rabu, 25 Juli 2018

Tempat : Ruang Seminar 1 Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM.
NIP 19631201 199402 1 002

Sumardi S.T., M.T.
NIP 19670113 199802 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199792 1 001

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

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

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

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem Pendayaan Energi Listrik pada Rumah Kaca Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya; Muhammad Irvan, 141910201098; 2018; 72 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pemanfaatan Cahaya matahari sudah banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu nya melalui panel surya. Panel surya merupakan komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung didistribusikan ke beban ataupun disimpan di dalam baterai sebelum digunakan ke beban.

Dalam perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya, hal yang sangat diperhatikan adalah menentukan ukuran dan spesifikasi peralatan-peralatan penyusun sistem. Hal ini bertujuan agar sistem berjalan dengan optimal dan mampu menyuplai beban. Pembangkit Listrik Tenaga Surya terdiri dari beberapa komponen, yaitu panel surya, *solar charger controller*, baterai, dan inverter.

Untuk dapat mengetahui seberapa besar unjuk kerja dan optimasi daya keluaran alat tersebut dalam pemakaian sebenarnya pada beban setiap alat yang akan dirancang dan dirakit, harus terlebih dahulu dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian karakteristik panel surya, pengujian karakteristik *solar charger controller*, dan pengujian sistem pembangkit listrik tenaga surya.

SUMMARY

System Design Electrical Energy in Greenhouse Using Solar Power Plant;
Muhammad Irvan, 141910201098; 2018; 72 pages; Department of Electrical
Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Utilization of solar light has been widely used to generate electricity. One of them through solar panels. The solar panels are the main component of Solar Power. The intensity of the sunlight received by the solar panels is then converted into electrical energy. Electricity generated by the solar panels can be directly distributed to the load or stored in the battery before use to load.

In designing the Solar Power system, the very note is to determine the size and specifications of the equipment making up the system. It is intended that the system is running optimally, and able to supply the load. Solar Power Plant consists of several components, namely solar panels, solar charger controller, battery and inverter.

To be able to know how much performance and optimization of the output power of the device in actual use on the load of each device will be designed and assembled, must first be tested. Testing was conducted on the test characteristics of solar panels, solar charger controllers characteristic testing, and testing of solar power generation systems.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah Subhanallahu wa Ta'ala, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendayaan Energi Listrik pada Rumah Kaca Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Nabi Besar Muhammad Shallallahu'alaihi Wa Sallam beserta seluruh keluarga dan sahabatnya dan para pengikutnya sampai akhir zaman. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Sumardi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membantu memberikan bimbingan dalam penyusunan penelitian ini
3. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku dosen penguji 2.
4. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T selaku Komisi Bimbingan S1 Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Para dosen beserta seluruh karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember, terima kasih atas segala dukungannya selama ini.
6. Ibunda tercinta dan Ayah, yang selalu ada dan menjadi motivator utama dalam menjalani perkuliahan dan selalu memberikan do'a serta restunya pada peneliti.
7. Rekan satu penelitian Lukman Hakim yang menjadi partner dalam mengerjakan penelitian dan penyusunan skripsi.
8. Teman-teman seperjuangan se-DPU Lukman Hakim, Okta Nopriansyah, Joni Pranata, Rifqi Bagus Prabowo, Kevinaldo Barevan, dan Ricky yang selalu mendukung satu sama lain.

9. Teman-teman sekontrakan Herdikanata, Agus Yudi, Kamil, Dicky, Mas Bayu, Adi Putranto yang selalu menghibur.
10. Faulyna Fauzi Harahap terimakasih telah mengajarkan peneliti bagaimana menjadi seseorang yang lebih kuat dalam menghadapi setiap masalah yang ada.
11. Saudaraku Elektro angkatan 2014 “Ketek UJ” terima kasih kalian adalah inspirasi dan penyemangatku.
12. Kelompok KKN DSM 04 Dewo Iman Samudra, Ade Priagung, Mahendra Dwi Purwanto, Yovie Meelivia Herera, Faishal Saputra, Gaung Aydakarina, M. Frian Rizal Rizqiansyah, Nando, Muslimah Kurniawati
13. Serta semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

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

Jember, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
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.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Rumah kaca	4
2.2 Pengendalian iklim rumah kaca	5
2.3 Radiasi Surya	9
2.4 Sejarah Panel Surya	11
2.5 Perkembangan PLTS di Indonesia	12
2.6 Prinsip Kerja PLTS	14
2.7 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	15
2.7.1 Panel Surya	15

2.7.2 Solar Charger Controller.....	16
2.7.3 Baterai.....	18
2.7.4 Inverter.....	19
2.8 Tahapan Penentuan Spesifikasi Komponen PLTS	20
2.8.1 Menghitung Beban	20
2.8.2 Hari Otonomi	20
2.8.3 Baterai	21
2.8.4 Panel Surya	22
2.8.5 Solar Charger Controller	23
2.8.6 Inverter	23
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Tahapan Penelitian	24
3.3 Pelaksanaan Jadwal Penelitian.....	25
3.4 Alat dan Bahan.....	26
3.5 Diagram Alir Penelitian	27
3.6 Identifikasi Beban	28
3.7 Rumah Kaca	31
3.8 Suhu Rumah Kaca	31
3.9 Identifikasi Radiasi Matahari.....	32
3.10 Tahap Penentuan Spesifikasi Peralatan PLTS	33
3.10.1 Menghitung Beban	34
3.10.2 Hari Otonomi	34
3.10.3 Baterai	35
3.10.4 Panel Surya	36
3.10.5 Solar Charger Controller	37
3.10.6 Inverter	37
3.11 Desain Simulasi Sistem PLTS.....	38
3.11.1 Rumah Kaca	38
3.11.2 Beban	39
3.11.3 Blok Diagram sistem	39

3.11.4 Pengujian dan Pengambilan Data	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Identifikasi Beban	41
4.2 Penentuan Spesifikasi Peralatan PLTS	46
4.2.1 Baterai	46
4.2.2 Panel Surya	49
4.2.3 Solar Charger Controller	51
4.2.4 Inverter	53
4.3 Perancangan Simulasi PLTS	55
4.3.1 Beban	55
4.3.2 Penentuan Komponen Simulasi PLTS	56
4.3.3 Pengujian Komponen PLTS	62
BAB 5. PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Pelaksanaan Jadwal Penelitian.....	20
3.2 Koefisien U	24
3.3 Koefisien C	24
3.4 Koefisien F.....	25
4.1 SHARP AH-XP10UHY.....	38
4.2 LED <i>grow light</i>	39
4.3 Spesifikasi <i>exhaust fan</i>	40
4.4 Spesifikasi pompa air Shimizu.....	43
4.5 Beban dalam sehari	44
4.6 Baterai Taico	46
4.7 Kickass solar	48
4.8 <i>Solar charger controller</i>	49
4.9 Spesifikasi inverter.....	52
4.10 Beban yang digunakan	53
4.11 Komponen PLTS yang digunakan	54
4.12 Spesifikasi dan ukuran beban pada miniatur PLTS	55
4.13 Konfigurasi pemakaian beban sehari	55
4.14 Spesifikasi baterai	57
4.15 Spesifikasi panel surya Sseries <i>Polycrystalline</i>	58
4.16 Spesifikasi Panel Surya Sseries tipe <i>Monocrystalline</i>	59
4.17 Spesifikasi Panel Surya Sunlite <i>Polycrystalline</i>	60
4.18 Spesifikasi <i>Solar Charger Controller</i> EPEVER <i>Tracer 1210A</i>	61
4.19 Spesifikasi inverter TBE 500 Watt	62
4.18 Data daya panel surya	63
4.19 Pengisian baterai dengan panel surya sebagai sumber	64
4.20 Data sistem panel surya 12 April 2018	66
4.21 Data sistem panel surya 13 April 2018	66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Proses aliran panas di rumah kaca	5
2.2 Aliran energi matahari, atmosfer dan tanah	8
2.3 Peta radiasi matahari gobal periode 1986-2005.....	9
2.4 Alexande Edmond Becquerel.....	9
2.5 PLTS Sukatani	10
2.6 Prinsip kerja PLTS	12
2.7 Penyusun generator panel surya.....	14
2.8 <i>Solar Charger Controller</i> tipe MPPT	15
2.9 a) aki <i>starter</i> (otomotif) dan b) aki <i>deep cycle</i>	16
3.1 Diagram alir Penelitian	21
3.2 Rumah kaca.....	22
3.3 Miniatur rumah kaca	33
3.4 Diagram blok sistem	33
4.1 Grafik Perubahan Suhu	36
4.2 Air conditioning SHARP	38
4.3 LED grow light	39
4.4 Exhaust fan.....	41
4.5 Sistem Irigasi rumah kaca	41
4.6 Pompa air Shimizu	43
4.7 Baterai Taico	46
4.8 Data radiasi matahari di kabupaten Jember	47
4.9 Panel surya Kickass.....	48
4.10 Solar charger controller Epever	50
4.11 Grafik pemakain beban dalam sehari.....	51
4.12 Inverter FL-IVP1512-1500VA	52
4.13 Accu Yuasa 45 Ah	58
4.14 Panel Surya Sseries <i>Polycrystalline</i>	59

4.15 Panel surya Sseries <i>Monocrystalline</i>	60
4.16 Panel surya Sunlite <i>Polycrystalline</i>	60
4.17 <i>Solar charger controller</i> EPEVER	62
4.18 Inverter TBE 500 W.....	63



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak pada 6 LU (Lintang Utara) 11 LS (Lintang Selatan) dan 95 BT (Bujur Timur) 141 BT (Bujur Timur). Berdasarkan letak astronomis Indonesia merupakan negara yang berada di kawasan tropis di belahan timur bumi. Oleh karena itu, di Indonesia hanya memiliki dua pergantian musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan, sehingga Indonesia memiliki tanah yang subur dengan curah hujan yang tinggi serta intensitas cahaya matahari yang cukup membuat tumbuh-tumbuhan tumbuh dengan subur. Hal ini membuat pertanian menjadi salah satu bidang yang mempunyai peran penting dalam menunjang kehidupan masyarakat Indonesia.

Mengingat fenomena globalisasi sekarang yang menyebabkan perubahan keadaan cuaca tidak menentu. Hal ini membuat banyak para petani mengalami kerugian karena mengalami musim tanam dan musim panen yang tidak menentu. Bahkan di Indonesia pertumbuhan penduduk semakin meningkat sehingga lahan banyak digunakan sebagai tempat tinggal, tempat melakukan usaha, dan pemenuhan fasilitas umum yang menyebabkan keterbatasan lahan. Akibatnya produk lokal yang tidak memenuhi spesifikasi industri pangan, hasil produksi terbatas, perubahan selera konsumen dan perlunya mempertahankan ketersediaan produk-produk pertanian tersebut untuk menunjang kelangsungan industri-industri terkait. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah-masalah tersebut adalah rumah kaca.

Perkembangan teknologi pada era modern ini berkembang pesat sehingga teknologi sangatlah dibutuhkan peranannya dalam pertanian. Teknologi rumah kaca yang mampu beradaptasi dan pendekatan yang bersifat mengubah serta merekayasa iklim untuk kebutuhan akan tanaman sekarang semakin dibutuhkan. Dengan keterbatasan lahan yang tersedia akibat maraknya pembangunan perumahan maupun kawasan industri, perubahan cuaca pada kondisi tropis dan musim hujan maupun musim kemarau yang tidak bisa diprediksi adalah suatu hal yang menyebabkan penggunaan teknologi rumah kaca menjadi jalan keluar dari masalah tersebut.

Pertanian rumah kaca mempunyai banyak keuntungan, diantaranya: mudah dalam mengendalikan hama dan penyakit, bisa mengendalikan suhu dan kelembaban serta dapat lebih meningkatkan mutu produk pertanian yang dihasilkan. Meskipun demikian cara ini memerlukan biaya yang relatif lebih tinggi dan intensitas energi (energi yang digunakan per unit produksi) juga lebih besar dibandingkan dengan cara konvensional. Karena energi merupakan salah satu faktor penting, maka pengendalian sistem energi merupakan salah satu faktor untuk dapat menekan biaya produksi (Sugiyono, 1998).

Beberapa penelitian sebelumnya seperti “Sistem *Monitoring* Dan Kontrol Rumah Kaca Berbasis Arduino, Lab *View* Dan Antar Muka Web” yang dilakukan oleh Christian Fredy Naa (Naa, 2015). “Pengendali Intesitas Cahaya, Suhu, dan Kelembaban pada Rumah Kaca dengan Metode PID” yang dilakukan oleh Yopi Sukita Defriyadi (Defriyadi, 2014). Dari penelitian sebelumnya mengkaji mengenai sistem kendali yang baik dimana hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan produk pertanian yang lebih efisien. Pada sistem kendali yang baik pasti memerlukan energi yang cukup. Namun pada penelitian sebelumnya tidak mengkaji hal tersebut. Di Indonesia rumah kaca menggunakan energi listrik dari PLN. Dimana sumber energi tersebut berasal dari energi konvensional seperti batu bara, bahan bakar minyak, gas alam, dan lain-lain. Ketergantungan sumber energi konvensional tentu saja memiliki dampak buruk seperti semakin meningkatnya kebutuhan energi tidak diiringi dengan ketersediaan di alam dan tentu saja penggunaan energi konvensional dapat mencemari lingkungan yang dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup.

Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan krisis energi dalam memenuhi kebutuhan energi. Mengingat Indonesia disinari matahari sepanjang tahun, maka potensi energi matahari sangatlah besar sebagai energi alternatif. Oleh karena itu pengembangan potensi energi cahaya matahari sebagai sumber energi alternatif harus dilakukan dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sumber energi listrik tenaga surya sebagai penyedia energi listrik pada rumah kaca. Nantinya diharapkan rumah kaca tersebut memiliki sistem *supply* sendiri (*stand alone*) sehingga tidak tergantung terhadap sistem energi listrik berasal dari energi konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi permasalahan adalah:

1. Bagaimana merancang sistem pendayaan energi listrik menggunakan panel surya sebagai penyedia energi listrik rumah kaca.
2. Bagaimana membuktikan sistem pendayaan energi listrik telah bekerja dengan baik sebagai penyedia energi listrik rumah kaca.

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak meluasnya permasalahan yang dipaparkan pada tugas akhir ini, maka perancangan ini perlu dibatasi ruang lingkupnya:

1. Tidak membahas biaya investasi, operasional, perawatan dan pergantian komponen sistem PLTS
2. Merancang *stand alone solar panel systems* dan perancangan dilakukan hanya untuk rumah kaca.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumasan masalah maka yang menjadi tujuan penelitian adalah mampu menghasilkan sistem pembangkit listrik tenaga surya sebagai penyedia energi listrik rumah kaca dan mampu mengimplementasikan secara nyata sistem pembangkit tenaga surya sebagai penyedia energi listrik rumah kaca.

1.5 Manfaat

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu menerapkan ilmu pengetahuan yang didapatkan selama proses perkuliahan dan teknologi panel surya dalam bidang pertanian.
2. Sebagai sarana informasi bagi masyarakat luas mengenai pemanfaatan energi yang ada di alam khususnya energi matahari.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rumah Kaca

Rumah kaca memiliki bentuk yang menyerupai dengan rumah-rumahan yang tertutup dan transparan yang bisa ditembus oleh cahaya matahari. Lalu cahaya matahari dimanfaatkan untuk menanam tanaman agar tanaman tersebut tumbuh secara optimal tanpa dipengaruhi adanya iklim luar. Untuk tujuan tersebut, rumah kaca sebaiknya mempunyai transmisi cahaya yang tinggi, konsumsi panas yang rendah, ventilasi yang cukup dan efisien, struktur yang kuat, kontruksi, dan biaya operasional yang murah serta berkualitas tinggi (Defriyadi, 2014).

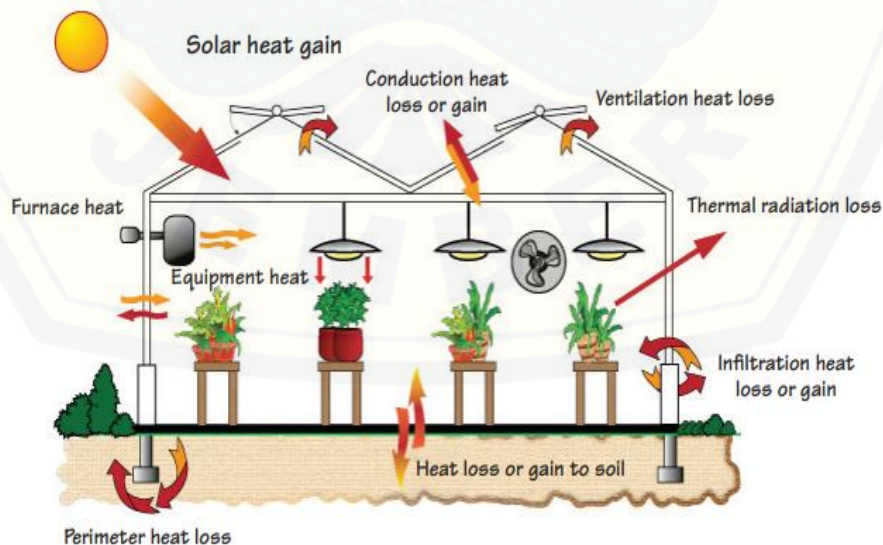
Budidaya tanaman di dalam rumah kaca lebih menguntungkan dari pada budidaya di lingkungan luar karena rumah kaca merupakan bangunan yang digunakan untuk mengendalikan dan menjaga keadaan iklim, serta lingkungan di dalam suatu ruangan atau bisa disebut dengan iklim buatan untuk menjaga kelembapan udara, tanah, suhu, dan intensitas cahaya. Sehingga besarnya suhu, tingkat kelembapan, dan kadar asam dalam tanah di dalam rumah kaca tersebut akan berbeda dengan kondisi suhu, kelembapan, dan tanah diluarnya. Beberapa parameter yang diperhatikan didalam rumah kaca, diantaranya adalah suhu ruangan, suhu tanah, kelembapan udara, pengairan, pemupukan, kadar cahaya, dan pergerakan sirkulasi udara (ventilasi). Rumah kaca untuk daerah beriklim tropis memiliki suhu yang lebih tinggi dari pada rumah kaca untuk daerah subtropis sehingga sangat memungkinkan dan mempunyai banyak keuntungan dalam produksi dan budidaya tanaman. Produksi dapat dilakukan sepanjang tahun tanpa dipengaruhi perubahan cuaca, dimana produksi dalam lahan yang terbuka tidak memungkinkan karena adanya berbagai faktor yang tidak menunjang dalam budidaya tanaman seperti curah hujan yang terlalu tinggi, suhu yang ekstrim, angin yang kencang, dan berbagai faktor lainnya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman menurut Kimball (1983) ada dua faktor, yaitu faktor eksternal dan internal:

- a. Faktor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan adalah faktor lingkungan, misalnya nutrisi, air, cahaya, suhu, dan kelembapan
- b. Faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan adalah hormon auksin, hormon giberelin, hormon sitokinin, dan hormon etilen

2.2 Pengendalian Iklim Rumah Kaca

Pengendalian iklim sangat penting dalam pertanian rumah kaca; suhu udara dan kelembaban adalah dua faktor penting dalam kelangsungan hidup tanaman. Lingkungan termal sangat bergantung pada energi radiasi yang ditransmisikan ke dalam rumah kaca dibandingkan dengan energi yang dipancarkan kembali. Ketika ditransmisikan energi ke rumah kaca lebih besar, pendinginan diperlukan untuk mengurangi suhu rumah kaca dan kelangsungan hidup tanaman. Dengan lingkungan yang menguntungkan di rumah kaca, produksi tanaman meningkat dan meningkatkan laju transpirasi. Tanaman hanya menggunakan afraksi energi yang diterima untuk fotosintesis, sisanya berkontribusi terhadap kenaikan suhu rumah kaca (Giacomelli, 2012). Transpirasi adalah peristiwa bagi tanaman untuk melepaskan panas karena kehilangan kelembaban. Proses kehilangan dan perolehan panas di rumah kaca ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses aliran panas di rumah kaca

Perubahan energi yang terjadi di rumah kaca dapat dilihat dari gambar 2.1. Berdasarkan prinsip kekekalan energi, laju perubahan suhu udara di dalam rumah kaca dinyatakan sebagai hasil pertukaran panas antara bagian dalam dan luar rumah kaca.

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengendalian iklim di rumah kaca secara garis besar terbagi menjadi 3, yaitu sebagai berikut:

1. Pencahayaan

Menurut Lumsden (2004) lama penyinaran merupakan faktor utama dalam perkembangan tanaman dibandingkan dengan jumlah cahaya (Rosmayati, 2002). Berdasarkan responnya terhadap lama penyinaran, tanaman dapat dibagi atas 3 kategori yaitu: 1) tanaman berhari pendek, 2) tanaman berhari panjang, dan 3) tanaman berhari netral. Tanaman berhari pendek adalah tanaman yang berbunga bila mendapatkan penyinaran pendek sesuai dengan titik kritisnya. Tanaman berhari panjang adalah tanaman yang berbunga bila mendapatkan penyinaran panjang sesuai dengan titik kritisnya. Sedangkan tanaman berhari netral tanaman yang tidak terpengaruh pembungaannya meskipun mendapatkan penyinaran pendek atau panjang (Sweeny, 1986; Rosmayati, 2002).

Tanaman kentang di daerah subtropis tumbuh di daerah beriklim 4 musim dan mendapatkan penyinaran 16 jam per hari, sedangkan di daerah tropis seperti Indonesia ditanam di daerah tinggi. Tanaman yang mendapatkan penyinaran lebih besar dari 12 jam perhari, cenderung berumur dalam karena fase vegetatifnya akan lebih panjang. Sedangkan tanaman yang mendapat penyinaran 12 jam per hari, berumur lebih pendek dan menghasilkan batang pendek (Rosmayati, 2002).

Secara teoritis, kultivar kentang yang responsif terhadap lama penyinaran bila ditanam di Indonesia, umur panen akan lebih pendek dari tanaman di daerah yang memiliki 4 musim. Sebaliknya, kultivar yang tidak responsif terhadap lama penyinaran, umur panen di daerah 4 musim tidak berbeda dengan di Indonesia (Rosmayati, 2002)

Untuk menentukan jumlah lampu yang dibutuhkan, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan tingkat cahaya yang digunakan. Selanjutnya untuk menentukan jumlah lampu yang digunakan harus mengetahui lampu yang digunakan. Persamaan yang digunakan adalah:

2. Irigasi

Kebutuhan pokok tanaman untuk hidup dan berkembang secara normal yang berasal dari luar tubuhnya adalah cahaya matahari, unsur hara, dan air. Pertumbuhan tanaman juga sangat dipengaruhi oleh kelembaban. Apabila kelembaban lingkungan berada di luar batas, maka tanaman akan terganggu pertumbuhannya. Setiap golongan tanaman memerlukan kelembaban udara yang berbeda-beda untuk perkembangan optimalnya. Untuk kebanyakan tanaman, kelembaban nisbi yang dibutuhkan sekitar 80% (Hariadi, 2007).

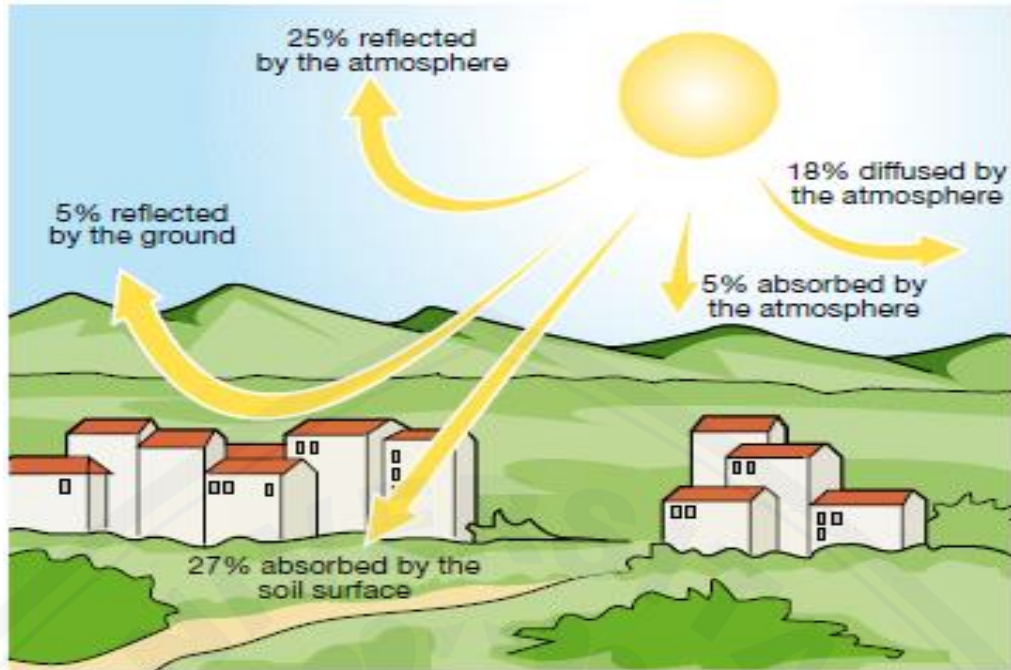
3. Sirkulasi Udara

Suhu ideal / nyaman untuk tanaman dapat tumbuh dan berbuah dengan baik khususnya tanaman hortikultura yang dibudidayakan di dalam rumah kaca, misalnya tanaman cabai adalah 21 – 28°C, suhu di atas 32°C menyebabkan pembuahan tanaman cabai sangat sedikit, bunga dan buah menjadi terbakar dan hangus (Sudarya, 2009; Alahudin dkk.).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hariadi (2005) bahwa rumah kaca tanpa pengendalian temperatur siang hari di dalam rumah kaca menjadi lebih tinggi dari pada suhu di luar rumah kaca. Sirkulasi udara pada rumah kaca menggunakan *exhaust fan*.

2.3 Radiasi Surya

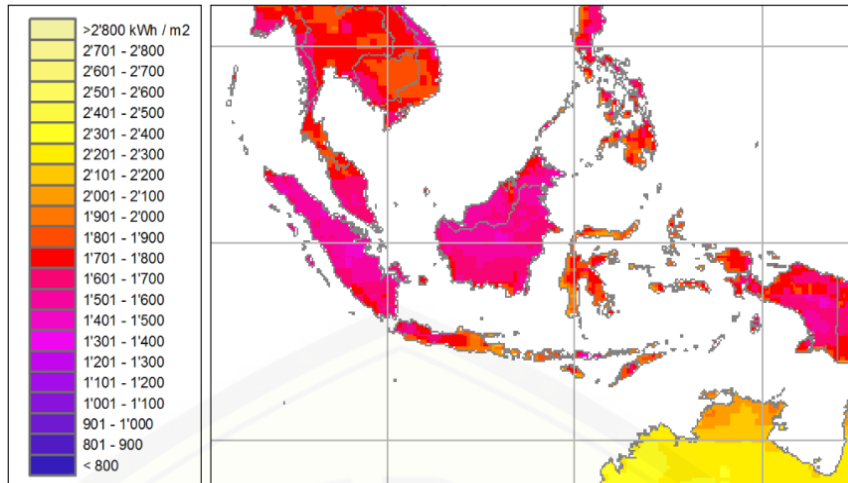
Dalam termonuklir inti matahari terjadi reaksi fusi tak henti-hentinya di jutaan derajat. Kemudian melepaskan besar jumlah energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Sebagian kecil dari energi ini mencapai area luar atmosfer bumi dengan radiasi rata-rata (*solar konstan*) dari sekitar $1367 \text{ W/m}^2 \pm 3\%$, nilai yang dapat bervariasi sebagai fungsi dari jarak Bumi ke Matahari dan dari aktivitas matahari (*sunspot*). Karena orbit eliptikal bumi yang mengitari matahari, jarak terpendek ke matahari ada pada Desember dan Januari, dan yang terjauh ada pada Juni dan Juli (ABB, 2010). Pada gambar 2.1 menunjukkan aliran energi matahari, atmosfer dan tanah



Gambar 2.2 Aliran energi matahari, atmosfer dan tanah (Sumber: ABB, 2010)

Energi radiasi surya pada dasarnya memiliki bentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Radiasi yang diterima oleh permukaan bumi berbeda-beda jumlahnya. Perbedaan ini mengakibatkan pembentukan cuaca, dan menciptakan pola angin yang dapat mempengaruhi kondisi curah hujan, temperatur, dan lain sebagainya. Pengukuran radiasi surya tergantung dari beberapa kondisi, diantaranya adalah: wilayah permukaan bumi yang akan diukur, kondisi cuaca lokasi pengukuran. Pengukuran radiasi surya adalah menentukan jumlah energi surya yang diterima oleh permukaan bumi dalam bentuk intensitas dalam sehari.

Gambar 2.3 memperlihatkan peta ketersediaan radiasi matahari global tahunan dari periode 1986-2005. Peta ini menunjukkan bahwa rata-rata tahunan radiasi matahari di daerah Jember berkisar 1.801 sampai 2.000 kWh/m²



Gambar 2.3 Peta Radiasi Matahari Global Priode 1986-2005 (Sumber: Meteotest, 2012)

2.4 Sejarah Panel Surya

Energi listrik tenaga surya pertama kali ditemukan Alexander Edmond Becquerel seorang ahli fisika yang berasal dari Prancis pada tahun 1839. Ia secara kebetulan menangkap sebuah peristiwa dimana berkas sinar matahari mengenai larutan elektro kimia yang mengakibatkan peningkatan muatan elektron. Pada tahun 1904 Albert Einstein mengembangkan penemuan tersebut. Einstein menamai penemuan yang ditemukan Alexandre Edmond Becquerel dengan *Photoelectric Effect*.



Gambar 2.4 Alexandre Edmond Becquerel

(sumber: <https://www.kelistrikanku.com/2017/01/sejarah-sel-surya-plts-matahari.html>, diakses 26 April 2018)

Einstein melakukan pengamatan pada sebuah lempeng metal yang melepaskan foton partikel energi cahaya ketika energi matahari mengenai secara langsung, sehingga terjadi energi foton yang bersifat gelombang energi cahaya.

Seiring berkembangnya zaman, maka pemanfaatan dan desain sel surya juga semakin berkembang. Pada tahun 1950-1960 dimana sel surya diperkenalkan diaplikasikan ke pesawat luar angkasa. Perkembangan sel surya semakin pesat pada tahun 1970-an, dimana sel surya diperkenalkan secara besar-besaran di seluruh dunia sebagai energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan.

Tahun 1980-an, perusahaan-perusahaan pembuat panel surya menjalin kerjasama dengan pemerintah agar produksi panel bisa semakin bertambah, sehingga dapat menekan biaya produksi yang berbanding lurus dengan harga satuan sel surya yang dapat terjangkau.

Tahun 2000-an, aplikasi panel surya telah diterima masyarakat luas. Banyak pabrikan yang memiliki kapasitas produksi hingga ribuan MW per tahunnya. Diharapkan kedepannya dengan semakin besarnya permintaan, akan mampu meneka biaya jual lebih besar. (Sumber: <https://janaloka.com/sejarah-sel-surya/>, diakses 26 April 2018)

2.5 Perkembangan PLTS di Indonesia

Sejarah perkembangan Pembangkit Listrik di Indonesia sudah dimulai sejak tahun 1980-an. Tepatnya pada 1987, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) memulai untuk pemasangan 80 unit Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) untuk lampu penerangan rumah di desa Sukatani, Jawa Barat.



Gambar 2.5 PLTS Sukatani

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2014/11/03/kemendikristek-dan-harapan-kebangkitan-riset-sel-surya/>, diakses 12 Mei 2018)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) sendiri merupakan salah satu aplikasi mandiri listrik energi surya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) adalah pembangkit mini yang dapat terpasang di masing-masing rumah secara mandiri. Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) merupakan salah satu aplikasi dari sistem *off grid*, dimana ciri utama adalah tanpa koneksi jaringan listrik PLN dan penggunaan baterai sebagai sumber daya mandiri.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) memiliki sistem kerja yang sangat sederhana. Panel surya diletakkan di posisi yang dapat menangkap cahaya matahari langsung, kemudin dihubungkan dengan kabel ke sistem kontrol, yang berfungsi mengatur *charge* dan *discharge* energi listrik, dan terhubung dengan baterai. Beban akan menggunakan listrik dari baterai dalam jangka waktu tertentu, sesuai kapasitas.

Pada tahun 1991 dilanjutkan dengan proyek bantuan presiden (BANPRES listrik tenaga surya masuk desa) untuk pemasangan 13,445 unit Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) di 15 provinsi. Dan kemudian dilanjutkan pada program pemerintah untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) hingga akhir tahun 1990-an.

Pada awal 2000-an, Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) yang dipasang semakin banyak, dan mulai dicoba diaplikasikan lebih luas kepada masyarakat. Sampai tahun 2007, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengklaim telah menyebarkan 40 ribu panel surya di seluruh Indonesia dengan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Solar Home System* (PLTS SHS) semakin diminati, karena program surya pemerintah ini memiliki dimensi dan berat yang cukup kecil, mudah dalam pendistribusian ke pelosok, minim perawatan dan pembiayaan relatif murah dengan hasil penggunaan maksimal.

Pada tahun 2010, telah dikembangkan aplikasi lain dari tenaga surya, mulai dari PLTS untuk pompa air, PLTS sebagai stasiun pencatu daya baterai, PLTS untuk pendingin vaksin, PLTS untuk BTS, hingga PLTS terpusat untuk mengalir

listrik di kota-kota kecil. (Sumber: <https://janaloka.com/sejarah-perkembangan-plts-di-indonesia>, diakses 26 April 2018).

2.6 Prinsip Kerja PLTS

Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi sumber daya alam. Pemanfaatannya sudah banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu nya melalui panel surya. Panel surya merupakan komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung didistribusikan ke beban ataupun disimpan di dalam baterai sebelum digunakan ke beban. Gambar 2.5 menjelaskan prinsip kerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.



Gambar 2.6 Prinsip kerja PLTS

(Sumber: <http://www.keminter.com/plts-rumah-tangga/diagram-instalasi-plts/>, diakses 26 April 2018)

Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara aktif dan pasif. Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya secara aktif adalah penggunaan secara langsung. Dimana listrik yang dihasilkan oleh panel surya langsung didistribusikan ke beban, baik untuk peralatan elektronik VDC ataupun peralatan elektronika VAC. Sedangkan Pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya secara pasif adalah penggunaan dengan media penyimpanan berupa baterai. Pada sistem Pengaplikasian Pembangkit Listrik

Tenaga Surya secara pasif terdapat sistem kontrol *solar charger controller* yang fungsinya mengatur proses penyimpanan dan penggunaan energi listrik pada baterai. Hal ini bertujuan agar dapat digunakan sewaktu-waktu, bahkan dalam kondisi tidak ada matahari

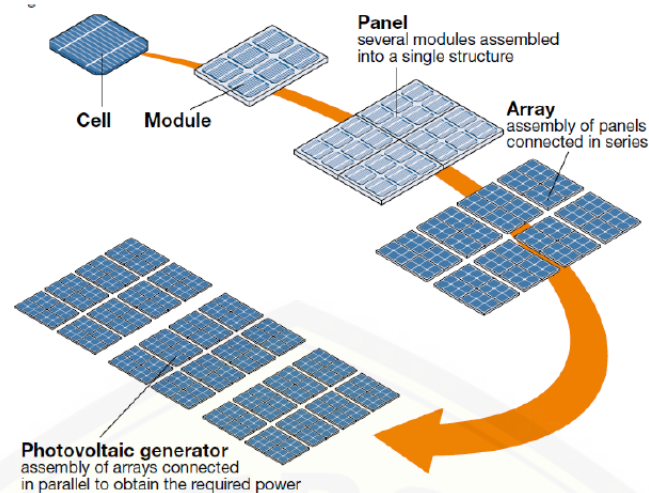
2.7 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.7.1 Panel Surya

Panel surya yang terkena paparan intensitas cahaya matahari dapat menghasilkan energi listrik. Hal ini dikarenakan di dalam cahaya matahari terdapat energi dalam bentuk foton. Ketika foton mengenai permukaan panel surya, elektron yang terdapat pada panel surya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Panel surya dapat mengalami proses tereksitasi karena terbuat dari bahan semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Pada silikon terdiri dua jenis lapisan negatif dan positif.

Di pasaran terdapat dua jenis panel surya, yaitu tipe *polycrystalline* dan *monocrystalline*. Panel surya tipe *monocrystalline* merupakan panel surya yang paling efisien di saat kondisi cuaca terik dan cerah. Kelemahannya ketika kondisi cuaca berawan ataupun mendung, efisiensinya akan menurun.

Untuk mendapatkan arus listrik yang lebih besar dari keluaran arus listrik dari setiap panel surya, maka modul surya dihubungkan secara paralel, dengan cara menghubungkan kutub-kutub yang sama (kutub negatif saling dihubungkan dan kutub positif juga saling dihubungkan). Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan modul surya dihubungkan secara seri yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif (Alifyanti).



Gambar 2.7 Penyusun generator panel surya (Sumber: ABB, 2010)

2.7.2 Solar Charger Controller

Solar Charger Controller merupakan komponen yang digunakan sebagai pengontrol penyaluran daya ke beban dan baterai. Komponen ini berfungsi secara otomatis memindahkan sumber listrik apabila PLTS tidak mencukupi distribusi ke beban, maka yang mencatu adalah baterai.

Solar Charger Controller yang baik mampu mendeteksi kapasitas baterai. Apabila baterai sudah penuh, maka proses pengisian akan dihentikan. Pada umumnya alat kontrol ini terdiri dari :

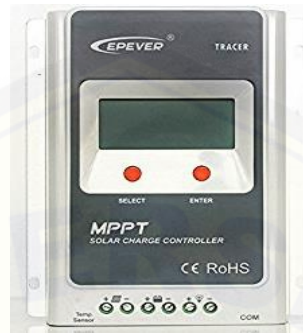
- Sebuah *input* memiliki 2 terminal yang terhubung dengan *output* panel surya.
- Sebuah *output* memiliki 2 terminal yang terhubung dengan baterai/aki.
- Sebuah *output* memiliki 2 terminal yang terhubung dengan beban.

Beberapa fungsi dari *Solar Charger Controller* adalah:

- Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging* dan *overvoltage*.
- Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge*, dan *overloading*.
- Monitoring* temperatur baterai.

Solar charger controller yang beredar di pasaran terdapat dua jenis, yaitu tipe PWM dan MPPT. *Solar Charger Controller* tipe MPPT memiliki keunggulan lebih baik dibandingkan dengan PWM, yaitu mampu memaksimalkan faktor pengisian kapasitas secara lebih besar. Digunakan pada saat tegangan panel surya

lebih besar dari pada tegangan baterai. *Solar Charger Controller* tipe MPPT mampu mengecilkan tegangan panel surya tanpa kehilangan arus pada sistem. *Solar Charger Controller* tipe PWM hanya mampu menyesuaikan dengan tegangan kerja baterai. Sehingga jika tegangan yang dihasilkan panel surya lebih kecil dari tegangan kerja baterai, maka sistem tidak melakukan pengisian



Gambar 2.8 *Solar Charger Controller* tipe MPPT

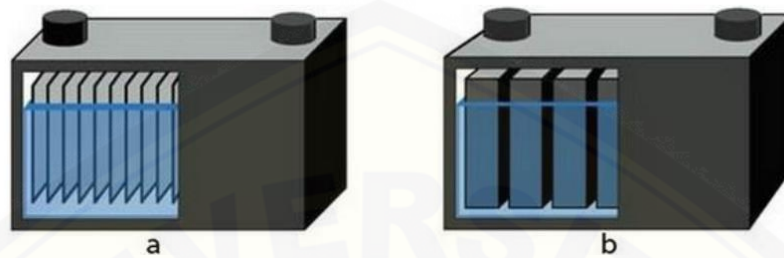
2.7.3 Baterai

Baterai (accu) berfungsi sebagai penyimpanan energi listrik aliran DC. Tanpa menggunakan aki, *supply* aliran listrik dari PLTS ke peralatan elektronik akan berhenti pada malam hari atau ketika sinar matahari itu lenyap karena ditutupi oleh awan dan sebagainya.

Di pasaran jenis baterai yang tersedia bermacam-macam. Namun secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi baterai dibedakan menjadi tiga, yaitu untuk otomotif, *marine*, dan *deep cycle*. Baterai yang sering digunakan untuk sistem PLTS adalah baterai *deep cycle*. Sedangkan secara konstruksi baterai dibedakan menjadi tipe basah, Gel dan AGM (*Absorbed Glass Mat*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*).

Baterai kering *deep cycle* juga dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil dan konsisten. Penurunan kemampuannya tidak lebih dari 1-2% per bulan tanpa perlu *discharge*. Bandingkan dengan baterai konvensional yang bisa mencapai 2% per minggu untuk *self discharge*. Konsekuensinya untuk charging pengisian arus ke dalam baterai *deep cycle* harus lebih kecil dibandingkan baterai konvensional sehingga butuh waktu yang lebih lama untuk mengisi muatannya. Antara tipe Gel dan AGM hampir mirip hanya saja baterai AGM

mempunyai semua kelebihan yang dimiliki tipe Gel tanpa memiliki kekurangannya. Kekurangan tipe Gel adalah pada waktu *discharge* maka tegangannya harus 20% lebih rendah dari baterai tipe AGM. Bila *overcharged* maka akan timbul rongga di dalam Gel, kerusakan ini sulit diperbaiki sehingga berkurang kapasitas muatannya.

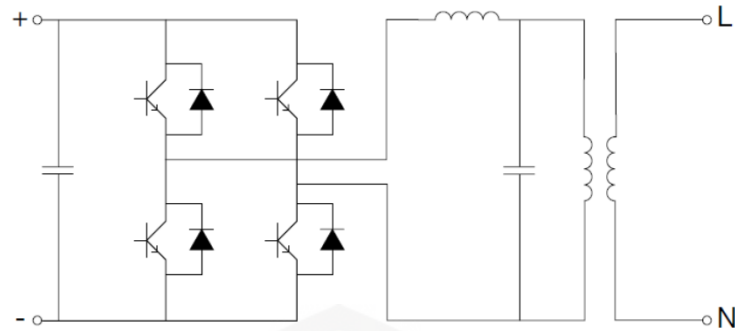


Gambar 2.9 a) aki *starter* (otomotif) dan b) aki *deep cycle* (Sumber: Haryati, Mulyono dan Asnawati, 2015)

2.7.4 Inverter

Inverter merupakan komponen yang digunakan untuk merubah arus searah DC menjadi bolak balik AC. Dikarenakan tegangan yang dihasilkan panel surya adalah tegangan searah, sementara beban yang ada pada rumah kaca menggunakan arus bolak-balik, maka dibutuhkan komponen yang dapat merubah arus tersebut, sehingga dapat digunakan oleh peralatan yang ada pada rumah kaca .

Menurut Tanti Haryati (Haryati, 2015) terdapat tiga jenis inverter dilihat dari gelombang *output*-nya yaitu *pure sine wave*, *square wave*, *modified sine wave*. Inverter *pure sine wave* mempunyai bentuk gelombang sinus murni seperti listrik dari PLN. Bentuk gelombang ini merupakan yang paling ideal untuk peralatan elektronik pada umumnya. Inverter *square wave* mempunyai bentuk gelombang kotak sebagai hasil dari proses *switching* sederhana. Bentuk gelombang ini tidak ideal dan dalam banyak kasus dapat merusak peralatan elektronik rumah tangga. Inverter *modified sine wave* mempunyai gelombang yang dimodifikasi mendekati bentuk sinus.



Gambar 2.10 Skema prinsip inverter satu fasa

Pada gambar 2.9 menunjukkan rangkaian inverter sederhana. Transistor, digunakan sebagai saklar statis yang dikendalikan oleh sinyal pembukaan – penutupan. Dalam mode sederhana, dapat menghasilkan output gelombang persegi bolak balik. Untuk mendapatkan bentuk gelombang sinusoidal, maka ditambahkan dengan rangkaian *Pulse Width Modulation (PWM)*. Teknik PWM memungkinkan *regulation* dapat dicapai pada frekuensi yang ditentukan serta pada rms nilai gelombang keluaran.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian yang dilakukan ini, untuk memperoleh data dan hasil dari penelitian yang sesuai dengan tujuan, maka dilakukan beberapa tahapan-tahapan pada proses penelitian ini. Adapun kegiatan yang dilakukan sebagaimana dapat dijelaskan dalam susunan seperti berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Adapun tempat penelitian yang akan dilakukan pengujian serta analisa dilakukan secara umum di:

Tempat / Alamat:

1. Center for Development of Advanced Sciences and Technology CDAST, Universitas Jember / Jl. Kalimantan No 37, Kampus Tegalboto Jember.
2. Laboratorium Dasar Fakultas Teknik Universitas Jember / Jl. Slamet Riyadi, Patrang.

Waktu: Februari 2018 – Mei 2018

3.2 Tahapan Penelitian

Dalam pelaksanaan tugas akhir terdapat beberapa tahapan penelitian yang akan dilakukan, tahapan-tahapan penelitian secara garis besar menjadi 6 bagian utama, yaitu sebagai berikut:

1. Tahapan Studi Pustaka

Sebelum melakukan penelitian diperlukan tahapan studi pustaka, yaitu mencari dan mengumpulkan referensi atau rujukan terkait penelitian serupa yang akan dilakukan. Dimana referensi atau rujukan tersebut nantinya akan dijadikan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian.

2. Tahapan Identifikasi Beban

Sebelum menentukan spesifikasi peralatan yang akan digunakan sebagai sistem pendayaan diperlukan tahapan identifikasi beban, yaitu mengitung semua kebutuhan beban yang akan didayai dengan energi listrik.

3. Tahapan Penentuan Spesifikasi Peralatan
Sebelum mendesain sistem Pendayaan menggunakan panel surya diperlukan tahapan penentuan spesifikasi peralatan, yaitu menentukan rata-rata intensitas cahaya matahari dan menentukan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan perhitungan kebutuhan beban di rumah kaca dan rata-rata intensitas cahaya matahari
4. Tahapan Desain dan Pembuatan Sistem Pendayaan Menggunakan Panel Surya
Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain rangka untuk panel surya yang akan digunakan. Dan pembuatan desain sistem pendayaan menggunakan solar panel yang nantinya akan diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan beban di rumah kaca
5. Tahapan Pengujian dan Analisa
Pada tahap ini dilakukan pengujian peralatan yang akan digunakan sebagai sistem pendayaan meliputi pengujian panel surya dan *solar charger controller*, tujuan pengujian ini adalah mengetahui karakteristik peralatan yang akan digunakan dan pengujian sistem pendayaan menggunakan panel surya. Setelah mendapatkan hasil data pengujian diperlukan tahapan analisa untuk pembahasan dan pembuatan laporan.
6. Tahapan Penulisan Laporan
Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian yang telah dilaksanakan. Dimana data yang telah didapatkan dan dianalisa ditulis dalam sebuah laporan, yang berisis langkah-langkah dalam pembuatan alat mulai dari merancang sampai alat tersebut bekerja, serta menganalisa permasalahan yang mungkin terjadi.

3.3 Pelaksanaan Jadwal Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama 4 bulan, yaitu dimulai dari bulan Februari 2018 hingga bulan Mei 2018. Berikut tabel 3.1 menampilkan pelaksanaan jadwal penelitian selama 4 bulan.

Tabel 3.1 Pelaksanaan Jadwal Penelitian

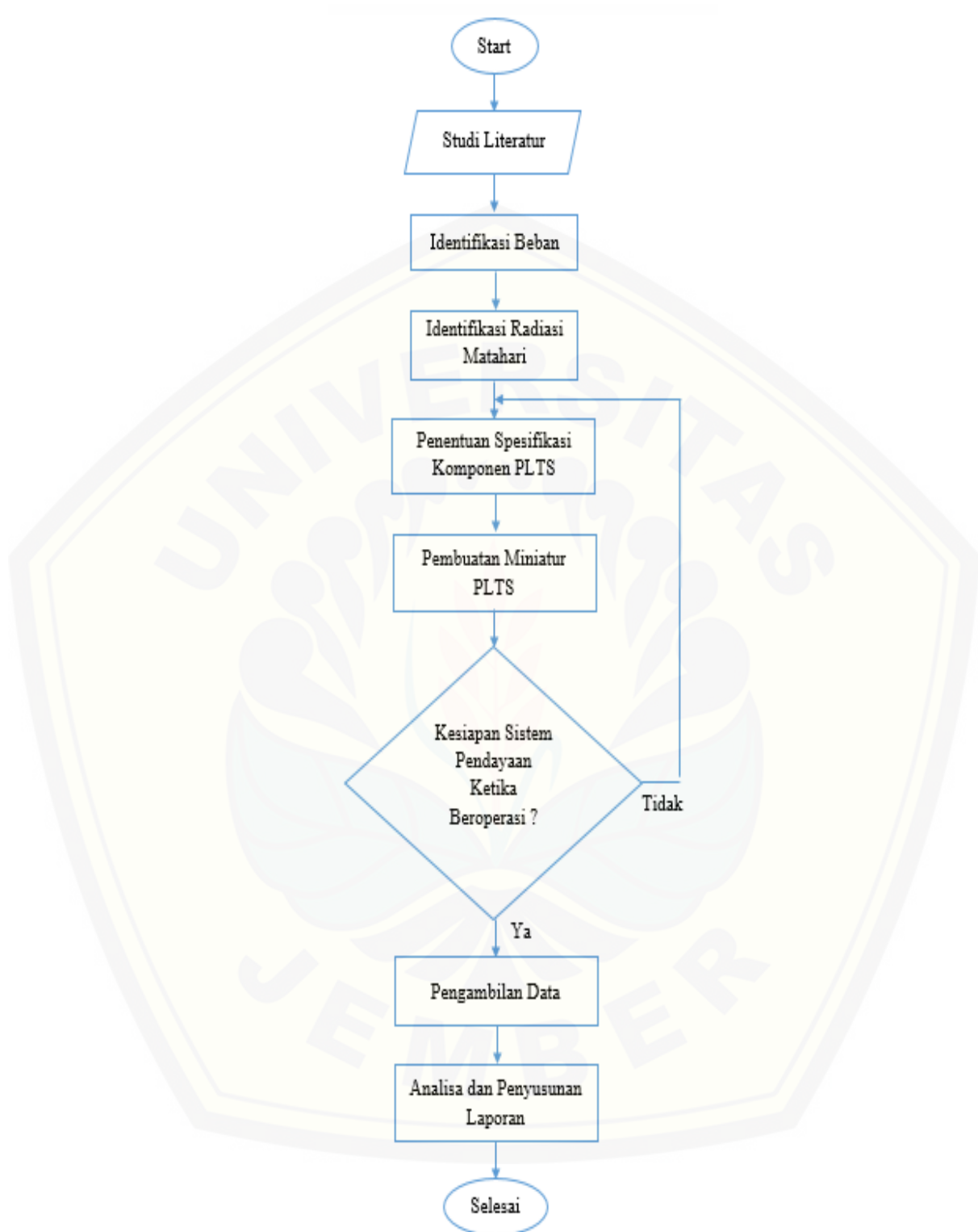
No	Kegiatan	Bulan ke-/Minggu															
		Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	<i>Study</i> Literatur	■	■														
2	Identifikasi Beban		■	■													
3	Penentuan Intensitas Cahaya Matahari			■	■												
4	Penentuan Spesifikasi Peralatan				■	■											
5	Desain Sistem Pendayaan					■	■	■									
6	Pengujian Alat								■	■	■						
7	Analisa Data											■	■	■			
8	Penyusunan Laporan														■	■	■

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk melaksanakan penelitian diantaranya adalah:

1. Laptop
2. Panel Surya
3. *Solar Charger Controller*
4. Baterai
5. Inverter
6. Kabel Instalasi
7. Beban (Pompa Air Hidroponik, Exhaust Fan, Lampu LED *Grow*).
8. *Connector* / Jumper
9. Alat ukur (Multi Meter, Clamp Meter, Lux Meter, Meteran)
10. Kerangka Besi
11. Alat Kerja (Bor, Gerinda, Mesin Las, Gergaji Besi, Obeng, Tang Potong, dll).

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

3.6 Rumah Kaca

Rumah kaca yang dijadikan objek penelitian sekaligus tempat penelitian berada di laboratorium CDAST Universitas Jember. Letak bangunan berada di ketinggian 36 m. Dinding dan atap rumah kaca terbuat dari kaca yang tembus pandang. Bangunan memiliki ukuran dimensi panjang 3.63 m, lebar 3.83 m dan tinggi 3.33 m. Didalamnya dilengkapi dengan alat pengatur kelembaban, menjaga distribusi udara, distribusi air, dan pencahayaan. Penelitian ini merancang sistem PLTS yang akan menyuplai energi listrik di rumah kaca menggunakan panel surya dan merekomendasikan peralatan pengendali iklim yang sesuai dengan kebutuhan rumah kaca.



Gambar 3.2 Rumah kaca CDAST Universitas Jember

3.7 Menentukan Spesifikasi Peralatan Pengendali Iklim

Sebelum menentukan spesifikasi peralatan pembangkit listrik tenaga surya diperlukan terlebih dahulu identifikasi beban. Beban yang akan digunakan disesuaikan dengan kebutuhan energi di rumah kaca. Selanjutnya menentukan pemakaian beban dalam satu hari di rumah kaca. Beban yang digunakan berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian iklim, secara garis besar faktor-faktor yang mempengaruhi iklim terbagi menjadi 4, yaitu sebagai berikut:

1. Pendingin dan pemanas

Alat pendingin dan pemanas yang digunakan di rumah kaca adalah *Air Conditioning*. *Air conditioning* berfungsi mempertahankan suhu yang sesuai dengan kebutuhan tanaman sehingga petani dengan mudah menentukan musim tanam dan panen suatu tanaman. Kapasitas *air conditioning* dinyatakan dalam BTU/hr, tapi untuk menghitung jumlah beban pendinginan secara keseluruhan dihitung dalam waktu 24 jam (BTU/hr).

Untuk menentukan spesifikasi *air conditioning* harus mengikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Melakukan pengamatan karakteristik rumah kaca dan menentukan perubahan suhu yang terjadi.
- b. Menentukan perpindahan energi panas yang mengalir pada dinding rumah kaca. Energi panas yang melewati bidang ruangan tiap satuan waktu merupakan fungsi dari tiga faktor dari persamaan:

$$Q_{dinding} = U \times A_{dinding} \times \Delta T \quad (3.1)$$

Dimana:

$Q_{dinding}$: Jumlah panas yang dipindahkan (BTU/hr)

U : Koefisien perpindahan panas (BTU/hr/°F/ft²)

A : Luas dinding (ft²)

ΔT : Perbedaan suhu (°F)

- c. Menentukan perpindahan energi panas yang melewati atap tiap satuan waktu merupakan fungsi dari tiga faktor persamaan

$$Q_{atap} = U \times A_{atap} \times \Delta T \quad (3.2)$$

Dimana:

Q_{atap} : Jumlah panas yang dipindahkan (BTU/hr)

U : Koefisien perpindahan panas (BTU/hr/t²/°F)

A : Luas atap(ft²)

ΔT : Perbedaan suhu awal dan akhir (°F)

Tabel 3.2 Koefisien U

Material	U (BTU/hr/ft ² /°F)
Kaca	1.1
Poly	1.1
Double layer	0.3-0.5
Akrilik	0.6
Polikarbonat	0.7
8" blok konkret	0.5
2" polisterin	0.1

- d. Menentukan perpindahan energi panas yang mengalir melewati struktur. Perpindahan panas melalui struktur merupakan penjumlahan dari perpindahan energi panas yang melewati dinding dan atap, persamaan yang digunakan adalah:

$$Q_{struktur} = Q_{dinding} + Q_{atap} \quad (3.3)$$

- e. Menentukan energi panas yang terjadi karena pertukaran udara tiap satuan waktu merupakan fungsi dari tiga faktor dari persamaan berikut

$$Q_{infiltrasi} = 0.02 \times V \times C \times \Delta T \quad (3.4)$$

Dimana:

$Q_{infiltrasi}$: energi panas yang dipindahkan (BTU/hr)

V : Volume ruang (ft³)

C : Pertukaran udara per jam (ACH)

ΔT : Perbedaan suhu awal dan akhir (°F)

Tabel 3.3 Koefisien C

Konstruksi	C (ACH)
Kaca	0.75-1.5
Poly	0.5-1
Kaca, lama	1-2
Kaca, lama dan kusam	2-4

- f. Menentukan perpindahan energi panas yang terjadi pada perimeter ruangan tiap satuan waktu merupakan fungsi dari tiga faktor dari persamaan berikut

$$Q_{perimeter} = F \times P \times \Delta T \quad (3.5)$$

$Q_{perimeter}$: Energi panas yang dipindahkan (BTU/hr)

F : Faktor perimeter (BTU/hr/ft/°F)

P : Perimeter ruangan (ft²)

ΔT : Perbedaan suhu dalam dan luar ($^{\circ}\text{F}$)

Tabel 3.4 Koefisien F

F	(BTU/hr/ft ² / $^{\circ}\text{F}$)
Uninsulated	0.8
Insulated	0.4

- g. Menentukan beban pendinginan total pada rumah kaca yang merupakan penjumlahan dari beban pendinginan yang melalui struktur, pertukaran udara, dan perimeter. Persamaan yang digunakan adalah:

$$Q_{total} = Q_{struktur} + Q_{infiltration} + Q_{perimeter} \quad (3.6)$$

- h. Menentukan spesifikasi *air conditioning* berdasarkan beban pendinginan total.

2. Pencahayaan

Lama penyinaran merupakan faktor penting dalam perkembangan tanaman dibandingkan dengan jumlah cahaya. Lama penyinaran adalah respon perubahan lama siang dan lama malam yang memungkinkan organisme beradaptasi terhadap perubahan dalam lingkungan. Di Indonesia lama penyinaran matahari sekitar 12 jam karena letak Indonesia tepat berada di bawah garis ekuator. Apabila pada rumah kaca akan dikembangkan tanaman berhari panjang, yaitu tanaman yang membutuhkan penyinaran yang panjang sesuai dengan titik kritisnya, maka dibutuhkan peralatan yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Untuk mengatasi kekurangan pencahayaan matahari yang kurang dapat menggunakan lampu tanaman yang dapat meniru sinar matahari. Dalam hal ini pada malam hari cahaya matahari digantikan dengan lampu LED. Lampu LED untuk perkembangan tanaman ditemukan untuk pertama kalinya oleh perusahaan SolarOasis pada tahun 2002 disebut *LED grow lights*.

Untuk menentukan Spesifikasi dan ukuran LED grow harus mengikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

- Menentukan kuat penerangan yang digunakan dalam perancangan dalam satuan lux.
- Menentukan spesifikasi LED yang akan digunakan di dalam perancangan rumah kaca.

- c. Menentukan kuat pencahayaan lampu dalam satuan lumen. Persamaan yang digunakan

$$\Phi = W \times \frac{l}{w} \quad (3.7)$$

Dimana:

Φ : LED luminous flux (lumen)

W : Daya lampu (W)

$\frac{l}{w}$: Luminous efficacy (lm)

- d. Menentukan jumlah LED yang digunakan

$$N = \frac{E \times p \times l}{\Phi \times LLF \times Cu \times n} \quad (3.8)$$

Keterangan:

N : jumlah titik lampu

E : Kuat penerangan (lux)

p : panjang ruangan (m)

l : lebar ruangan (m)

LLF : light loss factor (0.7-0.8)

Cu : Coefisien of utilization (50%-65%)

n : jumlah lampu dalam 1 titik

- e. Menentukan total daya lampu yang digunakan.

$$W_{total} = N \times W \quad (3.9)$$

3. Exhaust Fan

Rumah kaca dibuat tertutup namun tetap mendapatkan sirkulasi udara yang baik. Selain menggunakan ventilasi udara, agar sirkulasi udara baik rumah kaca juga harus dilengkapi dengan alat pengendali iklim yang baik. Adapun alat pengendali yang digunakan adalah *exhaust fan*. Tujuan penggunaan alat pengendali iklim berupa *exhaust fan* adalah menjaga sirkulasi udara di dalam rumah kaca lancar, sehingga suhu udara di dalam rumah kaca tidak terlalu panas dan pengap yang berakibat buruk terhadap perkembangan tanaman.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan kapasitas *exhaust fan* adalah sebagai berikut:

$$CMH = V \times C \quad (3.10)$$

Dimana:

CMH: kebutuhan sirkulasi udara dalam ruangan (CMH)

V : Volume ruangan (m^3)

C : Pergantian udara per jam (ACH)

4. Pompa Air

Pada rumah kaca pompa air digunakan sebagai alat yang mengalirkan air dari tempat yang rendah menuju tempat yang tinggi. Untuk mengetahui spesifikasi pompa terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan sebagai berikut:

- Menentukan debit air yang digunakan dalam satuan GPM (galon per menit).
- Menentukan *elevation head* pompa. *Elevation head* pompa adalah jarak vertikal (ketinggian) antara titik pumping level dan titik tertinggi pipa tangki dalam satuan ft.
- Menentukan *friction fitting* dan *valve*, yaitu gaya gesek antara air dengan fitting dan valve yang menyebabkan hambatan tekanan pompa. Satuan yang digunakan ft.
- Menentukan *friction loss* yaitu kerugian yang ditimbulkan karena gesekan air dengan pipa yang digunakan sehingga menghambat tekanan pompa. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$H_f = \frac{h_L}{100'} \times (L_{\text{pipa}} + \text{friction fitting dan valve}) \quad (3.11)$$

Keterangan:

H_f : *Friction loss* pipa (ft)

h_L : Koefisien jenis pipa (ft)

L_{pipa} : Panjang pipa (ft)

Friction fitting dan *valve* : kerugian air dengan *fitting* dan *valve* (ft)

- Menentukan *Pressure head*, yaitu nilai *pressure* maksimum sistem irigasi (pada umumnya 30-50 psi). Konversi satuan psi ke feet: 1 psi = 2.31 ft
- Menentukan total dinamik *head* pompa (TDH) adalah penjumlahan dari *elevation head*, *friction loss*, dan *pressure head*.

$$TDH = \text{elevation head} + \text{friction loss} + \text{pressure head} \quad (3.12)$$

- Menentukan kekuatan minimum pompa yang diperlukan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Water horsepower} = \frac{TDH \times Q \times SG}{3960} \quad (3.13)$$

Dimana:

Water horsepower : daya minimum yang diperlukan pompa (Hp)

TDH : total dynamic head (ft)

Q : Laju air (GPM)

SG : Specific Gravity (water = 1)

- h. Setelah menentukan kekuatan pompa air, selanjutnya adalah menentukan kapasitas dan ukuran pompa air yang sesuai dengan kebutuhan.

3.8 Tahap Penentuan Spesifikasi Komponen PLTS

Dalam perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya, hal yang sangat diperhatikan adalah menentukan jumlah panel surya yang akan digunakan dan kapasitas baterai dan aspek lain nya seperti solar charger controller, inverter, dan lain-lain. Hal ini bertujuan agar sistem berjalan dengan optimal dan mampu menyuplai beban. Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan standar IEEE *IEEE Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems* yaitu IEEE Std 1562-2007 dan IEEE Std 1013-2007.

3.8.1 Menghitung Beban

Salah satu faktor paling penting dalam merancang sistem stand alone PLTS adalah menentukan beban aktual. Hal ini bertujuan agar mengetahui berapa kebutuhan daya yang harus disediakan oleh komponen PLTS. Apabila beban aktual lebih besar dari sistem PLTS, maka sistem PLTS tidak dapat mencukupi kebutuhan daya. Dan apabila beban aktual lebih kecil dari sistem PLTS, maka perancangan sistem terlalu berlebihan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$Lt = \sum L_i \times t_i \quad (3.14)$$

Dimana:

Lt : total beban aktual (Wh)

L_i : beban ke i (W)

i : Jumlah beban yang digunakan

t_i : Waktu operasi beban (hr)

3.8.2 Hari Otonomi

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya juga harus mempertimbangkan hari otonomi, yaitu hari-hari ketika matahari terhalang oleh mendung atau berawan. Hal ini diperhitungkan agar sistem tetap bekerja walaupun cuaca mendung atau berawan yang menyebabkan panel surya tidak optimal dalam mengkonversi energi listrik.

Kapasitas baterai sangat mempengaruhi ketersediaan sistem, semakin besar kapasitas baterai maka semakin besar hari otonomi. Tentu saja hal ini memiliki resiko, karena baterai dapat beroperasi pada kondisi muatan rendah untuk jangka waktu yang lama. Namun hal ini dapat diatasi dengan meningkatkan rasio panel surya.

3.8.3 Baterai

Setelah mengitung beban aktual dan menentukan lama hari otonomi adalah menentukan ukuran dan spesifikasi baterai. Dalam penentuan ukuran dan spesifikasi baterai ada beberapa hal yang harus diperhatikan:

- a. Menentukan tegangan sistem yang akan digunakan pada sistem PLTS
- b. *Design load* (DL) adalah proses mengubah satuan energi (dalam Wh) dikonversikan menjadi Ah sesuai dengan satuan kapasitas baterai. Adapun persamaan yang digunakan adalah:

$$D = \frac{L_t}{V_{sis}} \quad (3.15)$$

Dimana:

DL : Total beban harian (Ah)

Lt : Beban aktual (Wh)

Vsis : Tegangan sistem (V)

- c. Menentukan kapasitas baterai, yaitu dengan mengalikan *design load* (DL) dan lama hari otonomi yang telah ditentukan:

$$kb = DL \times DO \quad (3.16)$$

Dimana:

kb : Kapasitas baterai (Ah)

DL : Total beban harian (Ah)

DO : Hari otonomi

- d. *Depth of Discharge* (DoD) adalah besarnya muatan yang digunakan ketika baterai terisi penuh. Secara umum dinyatakan dalam persen. Persamaan yang digunakan adalah:

$$kDoD = kb \div DoD \quad (3.17)$$

Dimana:

kDoD : Kapasitas DoD (Ah)

kb : Kapasitas baterai

DoD : *Depth of Discharge*

- e. Nilai aging faktor baterai merupakan aspek ekonomi dalam perhitungan baterai. Persamaan kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah:

$$Kbtotal = kDoD \times \text{nilai aging faktor} \quad (3.18)$$

Dimana:

Kbtotal : kapasitas baterai total (Ah)

- f. Jumlah percabangan baterai yang digunakan secara paralel. Dalam menentukan jumlah percabangan baterai harus menentukan spesifikasi baterai yang digunakan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$NoSP = \frac{Kbtotal}{\text{kapasitas baterai yang digunakan}} \quad (3.19)$$

- g. Kapasitas baterai yang dihasilkan setelah perancangan, biasanya dilambangkan dengan C_{100} . Persamaan yang digunakan adalah:

$$C_{100} = \text{kapasitas baterai yang digunakan} \times NoSP \quad (3.20)$$

3.8.4 Panel Surya

Setelah melakukan perhitung beban aktual, selanjutnya menentukan spesifikasi dan ukuran panel surya. Beberapa hal yang harus diperhatikan ketika menentukan ukuran dan spesifikasi panel surya antara lain:

- a. *Tilt angle* adalah sudut kemiringan panel surya. Peletakkan sudut kemiringan modul surya sangat penting karena hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja dari panel surya. Berdasarkan IEEE standar sudut kemiringan adalah 15° dan ditambahkan dengan sudut lintang untuk mengoptimalkan kinerja pada musim dingin. Karena di Indonesia tidak memiliki musim dingin dan pada IEEE standar tidak merekomendasikan sudut kemiringan untuk daerah beriklim tropis.

- b. Jam matahari: lamanya waktu dalam jam pada tingkat radiasi matahari dari 1 kW/m² dibutuhkan untuk menghasilkan radiasi matahari harian yang diperoleh dari integrasi penyinaran pada siang hari. Dalam penentuan ukuran dan spesifikasi panel surya sebaiknya memilih jam matahari yang memiliki nilai terendah.
- c. Array to Load ratio (A:L) merupakan rasio antara panel surya dan beban. Pada umumnya nilai rasio lebih besar dari 1. Dalam IEEE standar nilai rasio untuk daerah dengan radiasi tinggi memiliki ratio sekitar 1.1 – 1.2. Sedangkan untuk daerah dengan radiasi yang rendah memiliki rasio sekitar 1.3 – 1.4.
- d. Kemungkinan kerugian sistem (dinyatakan dalam persen). Hal ini perlu dipertimbangkan karena kerugian sistem mungkin bisa terjadi karena debu pada panel surya, efisiensi coulomb baterai, kerugian muatan (dari *solar charger controller* atau inverter), dan lain-lain. Pada IEEE standart nilai kerugian sistem berkisar antara 10% - 20%.
- e. Menentukan spesifikasi dan ukuran panel surya yang akan digunakan oleh sistem.
- f. Menentukan jumlah panel surya yang terhubung secara seri. Persamaan yang digunakan adalah:

$$N_s = \frac{V_{sis}}{V_{mp}} \quad (3.21)$$

- g. Menentukan jumlah panel surya yang terhubung secara paralel. Persamaan yang digunakan adalah:

$$N_p = \frac{Ah \times A:L}{(1 - Losses) \times Imp \times SH} \quad (3.22)$$

3.8.5 Solar Charger Controller

Setelah menentukan spesifikasi baterai, tahap selanjutnya adalah menentukan ukuran dan spesifikasi *solar charger controller* ada beberapa hal yang harus diperhatikan:

- a. 100 ratio pengisian baterai biasanya disimbolkan dengan I₁₀₀. Ratio pengisian baterai adalah arus maksimum yang dihasilkan *solar charger controller*. Persamaan yang digunakan adalah:

$$I_{100} = \frac{C_{100}}{100} \quad (3.23)$$

b. Setelah arus maksimum diketahui adalah menentukan spesifikasi dan ukuran *solar charger controller*.

c. Menentukan jumlah panel surya yang terhubung *solar charger controller*:

$$N_{sp} = \frac{\text{maxpowerinput}}{\text{powerpv}} \quad (3.24)$$

d. Menentukan jumlah *solar charger controller*:

$$N_{scc} = \frac{N_t}{N_{sp}} \quad (3.25)$$

3.8.6 Inverter

Dalam perancangan penentuan ukuran dan kapasitas inveter harus mengitung beban puncak yang terjadi dalam satu waktu. Penggunaan beban induktif juga perlu dipertimbangkan dengan mengalikan 10 kali besar dari daya beban nya. Jika tidak, sistem tidak dapat melayani beban puncak yang terjadi karena sistem hanya mampu melayani satu beban induktif saja.

a. Menentukan beban puncak

Persamaan yang digunakan untuk menentukan spesifikasi inverter adalah:

$$\text{Inverter} = \sum 10W \times n \quad (3.26)$$

Untuk beban induktif dikalikan 10 = $\sum 10W_f$. jadi persamaan total adalah:

$$\text{inverter} = \sum 10W_f \quad (3.27)$$

b. Menentukan jumlah baterai yang terhubung paralel ke inverter

$$NoSP_{inverter} = \frac{\text{Daya inverter}}{\text{kapasitas baterai} \times V_{sis}} \quad (3.28)$$

c. Menentukan jumlah inverter

$$N_{inverter} = \frac{\text{Jumlah Baterai yang digunakan}}{NoSP_{inverter}} \quad (3.29)$$

3.9 Pembuatan Miniatur Sistem PLTS

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pembuatan prototipe terdiri dari tiga bagian. Yang pertama adalah menentukan spesifikasi alat pengendalian

iklim. Bagian kedua adalah menentukan spesifikasi komponen sistem PLTS. Tahap ketiga melakukan pengujian komponen. Penentuan komponen miniatur menggunakan metode yang sama dengan metode perancangan Bab 3 subbab 3.8 .

3.11.1 Rumah Kaca



Gambar 3.3 Miniatur rumah kaca

Miniatur rumah kaca dibuat dalam ukuran atau skala kecil. Dinding miniatur terbuat dari plastik. Ukuran dimensi miniatur rumah kaca adalah $1 \times 1 \times 1$ m. Pada pembuatan miniatur ini beban atau alat pengendalian iklim yang digunakan adalah kipas exhaust fan, pompa air, dan LED *grow light*.

3.11.2 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.5 Diagram blok sistem

Panel surya akan menyerap cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. Listrik yang dihasilkan berupa arus searah (DC) kemudian diteruskan ke *Solar Charger Controller* (SCC). SCC disini berfungsi untuk mengatur arus dan tegangan dari panel surya yang akan diisikan ke baterai sekaligus mengatur arus yang akan ditarik dari baterai. Fungsi SCC adalah menjaga supaya tidak terjadinya *overcharging* dan *over discharging* pada baterai. Baterai disini berfungsi sebagai sumber catu daya bagian beban. Sebelum baterai menyuplai beban, listrik yang dihasilkan baterai berupa arus searah (DC) diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter. Dari inverter listrik langsung menyuplai beban AC.

3.9.3 Pengujian dan Pengambilan data

Pada dasarnya setiap alat yang dirancang dan dirakit, harus terlebih dahulu dilakukan pengujian, untuk dapat mengetahui seberapa besar unjuk kerja dan optimasi daya keluaran alat tersebut dalam pemakaian sebenarnya pada beban. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian karakteristik panel surya, pengujian *solar charger controller*, dan pengujian sistem pembangkit listrik tenaga surya.

1. Pengujian Karakteristik Panel Surya

Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas cahaya matahari yang dihasilkan. Pengujian ini meliputi:

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat peneliti berikan berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan sistem PLTS adalah sebagai berikut:

1. Alat pengendali iklim rumah kaca yang digunakan di dalam tugas akhir ini adalah sebuah *air conditioning* 1 Pk, Empat buah LED *grow lights* 100 W, satu buah *exhaust fan* 75 CMH, dan satu buah pompa air *submersible* 1.5 Hp.
2. Dengan beban 15052 Wh direkomendasikan menggunakan baterai 300 Ah sebanyak 12 buah, panel surya 300 Wp sebanyak 23 modul, solar charger 40 A sebanyak 8 buah, dan inverter 20000 W sebanyak 2 buah.
3. Pada pembuatan miniatur sistem panel surya komponen yang digunakan adalah dua buah baterai 45 Ah, 3 buah panel surya 50 Wp, satu buah solar charger controller 10 A, dan satu buah inverter 500 W.
4. Setiap panel yang diujikan ditemukan perbedaan yang signifikan hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan merk dan bahan dari panel sel surya. pada tanggal 8 april 2018 Panel surya monocrystalline menghasilkan daya rata-rata 38 W dan panel surya polycrystalline menghasilkan daya rata-rata 35 W.
5. Pada saat kondisi baterai drop *Solar Charger Controller* tidak dapat berfungsi yang mengakibatkan arus pengisian muatan baterai tetap 0 A. *Solar charger controller* yang digunakan mampu menghasilkan tegangan pengisian baterai maksimal 14.6 V.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Desain sistem pendayaan energi listrik untuk rumah kaca dengan menggunakan PLTS sebaiknya tidak hanya berdasarkan perhitungan, tetapi didasarkan juga pada simulasi.
2. Desain sistem pendayaan energi listrik untuk rumah kaca dengan menggunakan PLTS dapat dikembangkan lagi dengan cara mengintegrasikan sistem panel surya dengan jaringan listrik PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- ABB. 2010. *Photovoltaic Plants*. no. 116. *Technical Application Papers No.10*
- Bangunan88. Cara Menghitung Jumlah Titik Lampu pada suatu Ruang. bangunan88.com/blog/cara-menghitung-jumlah-titik-lampu-pada-suatu-ruang. (diakses: 5 Mei 2018)
- Both, J. A. 2011. Greenhouse Energy Efficiency (Heating). *Northeast SARE*. 13(128). University of New Jersey. Bioenviromental Engineering.
- Defriyadi, Y. S. 2014. Pengedali Intensitas Cahaya, Suhu, dan Kelembaban pada Rumah Kaca dengan Metode PID. *Skripsi*. Universitas Bengkulu: Teknik Elektro.
- Hariadi, T. K. 2007. Sistem pengendalian suhu, kelembaban dan cahaya dalam rumah kaca. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. 10(1)82-93
- IEEE, 2008. *Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems*. New York
- IEEE, 2007. *Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems*. New York.
- IEEE, 2016. *Development Of A Solar Photovoltaic System Sizing Application For Zimbabwe*. Zimbabwe.
- jualelektronik.com. Spesifikasi *exhaust fan*. <https://www.jualelektronik.com/>. (diakses: 5 Mei 2018)
- Naa, C. F., E. Padang, Y. S. Handayani, dan Hendro. Sistem Monitoring dan Kontrol Rumah Kaca berbasis Arduino, Lab View, dan Antarmuka Web. *Prosiding SKF*. 16-17 Desember 2015. 594-601.
- SENLU. Spesifikasi LED *grow lights*. m.id.senluled.org. (diakses: 5 Mei 2018)
- SHARP. Spesifikasi *air conditioning*. <https://www.sharp-indonesia.com/ind/>. (diakses: 5 Mei 2018)
- Shen, Y., R. Wei., dan L. Xu. 2018. Energy consumption prediction of a greenhouse and optimization of daily average temperature. *Energies*. 11(65): 1-17
- Shimizu Indonesia. Spesifikasi pompa air. <https://www.shimizu.co.id/>. (diakses: 5 Mei 2018)

Sugiyono, A. 1998. Kendali Sistem Energi Untuk Pertanian Rumah Kaca. *Prosiding Seminar Nasional Penerapan Teknologi Kendali dan Instrumen pada Pertanian. MASDALI-BPPT. S5-5.1-S5-5.4.*

Michigan. Water system sizing. https://www.michigan.gov/documents/deq/deq-wb-dwehs-gwwfwim-section4_183029_7.pdf. (diakses: 5 Mei 2018)



LAMPIRAN

A. Data Friction Loss Pipa

Tabel A.1 Friction loss pipa 1/2"-1 1/4"

LOSS OF HEAD IN FEET DUE TO FRICTION PER 100 FEET OF PIPE																			
1/2"					3/4"					1"					1-1/4"				
Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID .622"	Steel C = 100 ID .622"	Copper C = 130 ID .625"	Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID .824"	Steel C = 100 ID .824"	Copper C = 130 ID .822"	Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID 1.049"	Steel C = 100 ID 1.049"	Copper C = 130 ID 1.062"	Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID 1.380"	Steel C = 100 ID 1.380"	Copper C = 130 ID 1.368"
0.5	0.5	0.314	0.582	0.35	1.5	0.9	0.61	1.13	0.7	2	0.74	0.322	0.595	0.345	4	0.9	0.304	0.564	0.364
1	1.1	1.14	2.1	1.26	2	1.20	1.04	1.93	1.21	3	1.1	0.68	1.26	0.732	5	1.1	0.46	0.853	0.545
1.5	1.6	2.38	4.44	2.67	2.5	1.5	1.57	2.91	1.82	4	1.5	1.15	2.14	1.24	6	1.3	0.649	1.2	0.765
2	2.1	4.1	7.57	4.56	3	1.8	2.21	4.08	2.56	5	1.9	1.75	3.42	1.88	7	1.5	0.86	1.59	1.02
2.5	2.6	6.15	11.4	6.88	3.5	2.1	2.93	5.42	3.4	6	2.2	2.45	4.54	2.63	8	1.7	1.1	2.04	1.31
3	3.2	8.65	16	9.66	4	2.4	3.74	6.94	4.36	8	3.0	4.16	7.73	4.5	10	2.1	1.67	3.08	1.98
3.5	3.7	11.5	21.3	12.9	4.5	2.7	4.66	8.63	5.4	10	3.7	6.31	11.7	6.77	12	2.6	2.33	4.31	2.75
4	4.2	14.8	27.3	16.4	5	3.0	5.66	10.5	6.57	12	4.5	8.85	16.4	9.47	14	3.0	3.1	5.73	3.64
4.5	4.8	18.3	33.9	20.4	6	3.6	7.95	14.7	9.22	14	5.2	11.8	21.8	12.6	16	3.4	3.96	7.34	4.68
5	5.3	22.2	41.2	24.8	7	4.2	10.6	19.6	12.2	16	5.9	15.1	27.9	16.2	18	3.9	4.93	9.13	5.81
5.5	5.8	26.6	49.2	29.5	8	4.8	13.5	25	15.7	18	6.7	18.7	34.7	20.1	20	4.3	6	11.1	7.1
6	6.3	31.2	57.8	34.8	9	5.4	16.8	31.1	19.5	20	7.4	22.8	42.1	24.4	25	5.4	9.06	16.8	10.7
6.5	6.9	36.2	67	40.2	10	6.0	20.4	37.8	23.7	22	8.2	27.1	50.2	28.8	30	6.4	12.7	23.5	15
7	7.4	41.5	76.8	46.1	11	6.6	24.4	45.1	28.2	24	8.9	31.9	59	34	35	7.5	16.9	31.2	20
7.5	7.9	47.2	87.3	52.5	12	7.2	28.6	53	33.2	26	9.7	36.9	68.4	39.7	40	8.6	21.6	40	25.6
8	8.4	53	98.3	59.4	13	7.8	33.2	61.5	38.5	28	10.4	42.5	78.5	45.5	50	10.7	32.6	60.4	38.7
8.5	9.0	59.5	110	66	14	8.4	38	70.5	44.2	30	11.1	48.1	89.2	51.6	60	12.9	45.6	84.7	54.1
9	9.5	66	122	73.5	16	9.6	48.6	90.2	56.6	35	13.0	64.3	119	68.7	70	15.0	61.5	114	72.2
9.5	10.0	73	135	81	18	10.8	60.5	112	70.4	40	14.8	82	152	88	80	17.2	77.9	144	92.4
10	10.6	80.5	149	89.4	20	12.0	73.5	136	83.5	45	16.7	102	189	109	90	19.3	96.6	179	115

Tabel A.2 Friction loss pipa 1 ½"-2½"

1-1/2"					2"					2-1/2"				
Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID 1.61"	Steel C = 100 ID 1.61"	Copper C = 130 ID 1.60"	Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID 2.067"	Steel C = 100 ID 2.067"	Copper C = 130 ID 2.062"	Flow U.S. Gal. Min.	Velocity Plastic ft / sec	Plastic C = 140 ID 2.469"	Steel C = 100 ID 2.469"	Copper C = 130 ID 2.500"
4	0.6	0.144	0.267	0.165	10	1.0	0.233	0.431	0.268	20	1.3	0.353	0.654	0.375
6	0.9	0.305	0.565	0.358	15	1.4	0.495	0.916	0.569	30	2.0	0.75	1.39	0.792
8	1.3	0.52	0.962	0.611	20	1.9	0.839	1.55	0.962	40	2.7	1.27	2.36	1.35
10	1.6	0.785	1.45	0.923	25	2.4	1.27	2.35	1.45	50	3.4	1.92	3.56	2.04
12	1.9	1.1	2.04	1.29	30	2.9	1.78	3.29	2.03	60	4.0	2.69	4.99	2.86
14	2.2	1.46	2.71	1.71	35	3.3	2.36	4.37	2.71	70	4.7	3.58	6.64	3.82
16	2.5	1.87	3.47	2.2	40	3.8	3.03	5.6	3.47	80	5.4	4.59	8.5	4.88
18	2.8	2.33	4.31	2.75	45	4.3	3.76	6.96	4.31	90	6.0	5.72	10.6	6.06
20	3.2	2.83	5.24	3.31	50	4.8	4.57	8.46	5.24	100	6.7	6.9	12.8	7.37
25	3.9	4.26	7.9	5	55	5.3	5.46	10.1	6.22	110	7.4	8.25	15.3	8.8
30	4.7	6	11.1	7	60	5.7	6.44	11.9	7.34	120	8.0	9.71	18	10.3
35	5.5	7.94	14.7	9.35	70	6.7	8.53	15.8	9.78	130	8.7	11.3	20.9	12
40	6.3	10.2	18.9	12	80	7.6	10.9	20.2	12.5	140	9.4	12.9	23.9	13.7
45	7.1	12.63	23.4	14.9	90	8.6	13.6	25.1	15.6	150	10.1	14.7	27.3	15.6
50	7.9	15.4	28.5	18.1	100	9.6	16.5	30.5	18.9	160	10.7	16.6	30.7	17.6
55	8.7	18.35	34	21.5	110	10.5	19.7	36.4	22.5	170	11.4	18.5	34.3	19.7
60	9.5	21.6	40	25.3	120	11.5	23.1	42.7	26.6	180	12.1	20.6	38.1	21.9
65	10.2	25.1	46.4	29	130	12.4	26.8	49.6	30.7	190	12.7	22.7	42.1	24.2
70	11.0	28.7	53.2	33.8	140	13.4	30.6	56.9	35.2	200	13.4	25	46.3	26.6
75	11.8	32.6	60.4	38	150	14.3	35	64.7	40.1	220	14.7	29.8	55.3	31.8
80	12.6	36.8	68.1	43.1	160	15.3	39.3	72.8	45.1	240	16.1	35.8	66.4	37.4
85	13.4	41.2	76.2	47.6	170	16.3	44	81.4	50.5	260	17.4	41.6	75.3	43.3
90	14.2	45.7	84.7	53.6	180	17.2	48.9	90.5	56.1	280	18.8	46.6	86.3	49.4
95	15.0	50.5	93.6	58.8	190	18.2	54	100	62	300	20.1	52.9	98.1	56.8
100	15.8	56.6	103	65.1	200	19.1	59.4	110	68					

Tabel A.3 Friction loss fitting pipa 1/2-2 1/2

FRICITION LOSSES THROUGH FITTINGS IN TERMS OF EQUIVALENT LENGTHS OF PIPE								
Type Fitting and Application	Pipe and Fitting Material (Note 1)	Equivalent Length of Pipe Nominal Size Fitting and Pipe						
		1/2	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2-1/2
Threaded Adapter Plastic or Copper to Thread	Copper	1	1	1	1	1	1	1
	Plastic	3	3	3	3	3	3	3
90° Standard Elbow	Steel	2	3	3	4	4	5	6
	Copper	2	3	3	4	4	5	6
	Plastic	4	5	6	7	8	9	10
Insert Coupling	Plastic	3	3	3	3	3	3	3
Standard Tee	Steel	4	5	6	8	9	11	14
	Copper	4	5	6	8	9	11	14
	Plastic	7	8	9	12	13	17	20
Gate Valve	Note (2)	2	3	4	5	6	7	8

B. Data Pengujian Panel Surya

Tabel B.1 Pengujian Panel Surya 08 April 2018

Jam (WIB)	Intensitas Cahaya (lux)	Sunlite Poly		Sseries Poly		Sseries Mono		Kondisi Cuaca
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
07.00	258	19.48	0.62	19.86	0.63	18.84	0.6	Cerah
08.00	720	19.87	1.51	20.2	1.53	20.3	1.5	Cerah
09.00	975	20.04	2.17	20.1	2.21	19.33	2.27	Cerah
10.00	1148	19.79	2.37	19.93	2.38	20.09	2.45	Cerah
11.00	1230	19.54	2.43	19.51	2.58	19.7	2.66	Cerah
12.00	1269	20.01	2.54	19.79	2.75	19.83	2.78	Cerah
13.00	253	18.5	0.6	18.64	0.48	18.8	0.99	Mendung
14.00	246	18.74	0.58	19.12	0.48	19.15	0.49	Mendung
15.00	227	18.54	0.53	18.9	0.54	16.01	0.5	Mendung
16.00	63	18.54	0.05	16.7	0.05	15	0.05	Mendung

Tabel B.2 Pengujian Panel Surya 09 April 2018

Jam (WIB)	Intensitas Cahaya (lux)	Sunlite Poly		Sseries Poly		Sseries Mono		Kondisi Cuaca
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
07.00	280	19.9	0.81	19	0.83	18.41	0.78	Cerah
08.00	696	19.83	1.38	20.1	1.39	20.2	1.41	Cerah
09.00	953	20	2	20.8	2.16	21	2.02	Cerah
10.00	1172	19.82	2.4	19.13	2.38	19.97	2.46	Cerah
11.00	1270	19.64	2.58	19.63	2.6	19.85	2.66	Cerah
12.00	1260	19.93	2.52	19.99	2.59	19.2	2.64	Cerah
13.00	1148	19.53	2.32	19.53	2.45	18.8	2.45	Cerah
14.00	315	18.49	1.01	18.49	1.2	18.78	1.25	Mendung
15.00	276	17.53	0.68	17.53	0.69	17.54	0.64	Mendung
16.00	170	17.25	0.15	17.48	0.13	16.48	0.15	Mendung

Tabel B.3 Pengujian Panel Surya 10 April 2018

Jam (WIB)	Intensitas Cahaya (lux)	Sunlite Poly		Sseries Poly		Sseries Mono		Kondisi Cuaca
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
07.00	272	19.8	0.64	19.97	0.66	19.81	0.6	Cerah
08.00	404	20.1	1.01	20.2	1.02	20.2	1.02	Cerah
09.00	654	19.18	1.24	19.56	1.27	19.32	1.24	Cerah
10.00	1023	19.24	2.2	19.68	2.2	19.52	2.41	Cerah
11.00	1070	19.07	2.23	19.48	2.25	19.28	2.32	Cerah
12.00	1280	20.06	2.61	19.27	2.62	19.18	2.86	Cerah
13.00	1317	20.15	2.69	20.3	2.7	20.54	2.9	Cerah
14.00	934	18.88	2.12	19.4	2.01	19.3	2.04	Mendung
15.00	279	18.88	0.95	18.97	0.96	19.19	0.94	Mendung
16.00	56	18.67	0.05	16.95	0.05	16.13	0.048	Mendung