

DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA

by Bayu Rudianto

Submission date: 08-Aug-2023 10:56AM (UTC+0700)

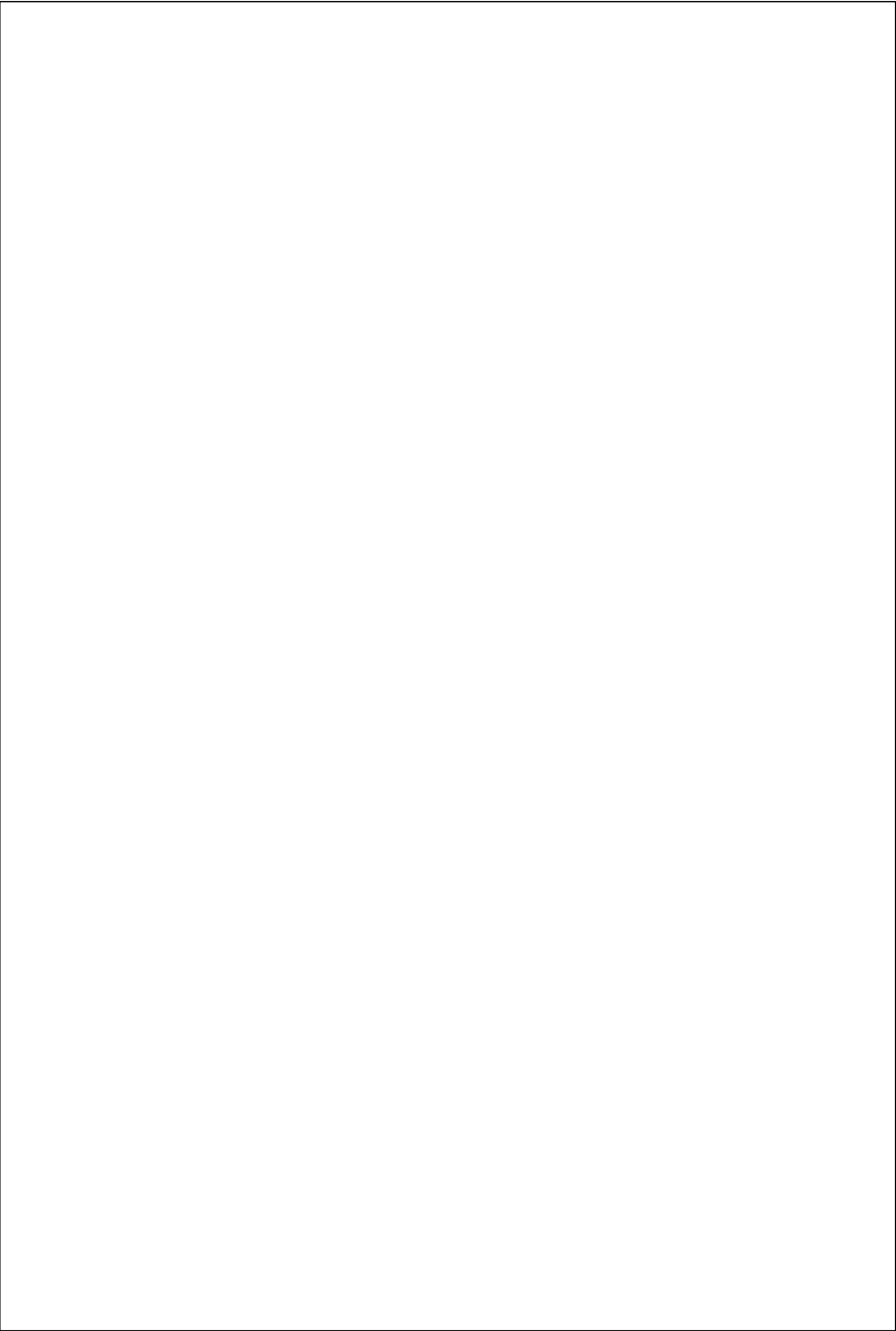
Submission ID: 2142938371

File name: 120723_PANEL_SURYA_-_Dr._Bayu_Rudiyanto.pdf (4.23M)

Word count: 25512

Character count: 156915

DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA



DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA

Penulis:

Bayu Rudiyanto

Risse Entikaria Rachmanita

Azamataufiq Budiprasojo



2023

DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA

Penulis:

Bayu Rudiyanto
Risse Entikaria Rachmanita
Azamataufiq Budiprasojo

Tata Letak : Ahmad Sofi
Cover : Aliyul Murtadlo

copyright © 2023

Penerbit



Unisma Press
Gedung Umar bin Khattab Kantor Pusat LT. 3,
Universitas Islam Malang
Jl. Mayjen Haryono 193 Malang, 65144
Telp. 0341-551932 ext 232
unismapress@unisma.ac.id

Cetakan Pertama : Juni 2023
Ukuran : 15,5 cm x 23 cm
Jumlah Halaman : xiv + 166 halaman

Anggota IKAPI No.303/JTI/2021

ISBN: 978-623-5498-16-4

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari Penerbit

KATA PENGANTAR

Buku adalah cara kita untuk berbagi. Sebuah metode yang bisa dilakukan untuk membuat kehidupan menjadi lebih baik melalui ilmu pengetahuan, saat orang memahaminya melalui cara membaca. Seorang praktisi bahkan seorang akademisi pun menyadari bahwa ilmu selalu berkembang dan perlu selalu mencari referensi baru agar lebih memahami keilmuan secara komprehensif.

Sebuah proses yang tak akan pernah berujung bila membahas tentang pentingnya buku pendamping sebagai buku referensi. Buku yang diterbitkan kali ini bertujuan untuk mengenalkan para pembaca, terkhusus para penggemar Do It Your own (DIY), dan atau pemula yang ingin memahami cara membuat proyek pemasangan panel surya sebagai suatu sumber energi alternatif penghasil listrik yang murah dan ramah lingkungan.

Tentunya buku ini telah dikaji secara mendalam, walaupun tidak lepas dari kekurangan sehingga layak dijadikan

sebuah buku referensi. Penerbit menyampaikan terima kasih kepada penulis yang telah mempercayakan penerbitan buku ini kepada kami. Semoga amalnya diterima Allah sebagai amal jariyah dan buku ini dapat bermanfaat. Mudah-mudahan kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia Pendidikan dalam rangka mempersiapkan generasi yang lebih baik.

Penerbit

KATA SAMBUTAN

Syukur alhamdulillah dipanjatkan kehadiran Allah SWT., bahwa pada kesempatan ini dapat disusun buku “Dasar-dasar pemasangan panel surya” yang berisi dasar-dasar teori dan metode-metode sederhana untuk proyek pemasangan panel surya sebagai suatu sumber energi alternatif penghasil listrik yang murah dan ramah lingkungan, yang dapat dilakukan sendiri oleh pembaca.

Kami sangat mengapresiasi kepada kalangan akademisi khususnya dosen yang mau meluangkan waktunya untuk membuat sebuah buku yang dapat dimanfaatkan dan atau dijadikan rujukan oleh mahasiswa ataupun khalayak umum. Buku ini kami rasa cukup representatif untuk kemudian digunakan sebagai suatu bahan rujukan karena isinya yang dengan sangat lengkap memadukan antara teori dan pengaplikasiannya.

Besar harapan kami bahwa akan banyak rekan-rekan akademisi lainnya yang dapat turut berkontribusi dalam

pembuatan buku lainnya. Terima kasih kami ucapkan atas sebuah karya ini, mudah-mudahan dengan terbitnya buku ini, dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia Pendidikan dalam rangka mempersiapkan generasi mendatang.

Ketua Jurusan Teknik
Politeknik Negeri Jember

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, sehingga penulisan Buku “Dasar-dasar pemasangan Panel Surya” ini dapat diselesaikan sesuai dengan yang diharapkan. Buku ini bertujuan untuk mengenalkan para pembaca, cara membuat suatu alat ukur teknik secara otodidak.

Tidak hanya panduan langkah demi langkah membuat dan memasang suatu sistem kelistrikan memanfaatkan energi matahari sebagai pembangkit listrik yang akan didapatkan pembaca, namun juga beberapa landasan teori untuk menjawab kenapa langkah itu perlu dilakukan.

Pada bab awal buku ini membahas tentang sejarah panel surya terutama tentang ilmuwan yang berperan dan teori-teorinya yang membuat suatu teknologi panel surya dapat berkembang seperti saat ini. Selanjutnya akan dibahas tentang jenis-jenis panel surya yang umum digunakan di pasaran, beserta dengan penjelasan secara terperinci tentang apa itu, bagaimana pemasangannya, teknologi apa yang dimilikinya.

Pada Bab berikutnya pembaca akan mulai diperkenalkan dengan komponen-komponen yang perlu diketahui dan spesifikasi yang diperlukan untuk membuat suatu sistem pembangkit tenaga listrik menggunakan panel surya. Selanjutnya pembaca yang sudah mulai paham akan diajak untuk melanjutkan pembelajarannya mengenai cara kerja, manfaat, pemeliharaan dan pemasangan instalasi panel surya.

Pada bab berikutnya pembaca akan diajak untuk mengetahui cara perawatan dan kerusakan panel surya. Akan diberikan contoh-contoh nyata tentang tipe kerusakan apa yang biasa terjadi dan apa penyebabnya.

Pembahasan akan diakhiri dengan suatu metode untuk mendesain suatu sistem solar panel sederhana untuk menghasilkan arus searah yang dapat digunakan secara langsung pada perangkat elektronik sederhana yang disertai dengan hitungan sederhana untuk menghitung kebutuhan panel, daya dan baterai pada suatu proyek sederhana.

Penulis menyadari bahwa isi buku ini masih perlu mendapat tambahan dan penyempurnaan isi lebih lanjut. Penulis berharap agar buku ini dapat diperbaiki secara berkala sesuai dengan kebutuhan.

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar | v

Kata Sambutan | vii

Prakata | ix

Daftar Isi | xi

Bab 1| SEJARAH PANEL SURYA | 1

1.1. Sejarah Teknologi Panel Surya | 1

2.1. Perkembangan Panel Surya di Indonesia | 16

Bab 2| JENIS – JENIS PANEL SURYA | 23

2.1. Monokristalin | 24

2.2 Polikristalin | 35

2.3 Thin Film | 38

2.4 Panel Surya Fotovoltaik Organik (OPV) | 46

**Bab 3| KOMPONEN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA | 51**

3.1. Modul Surya | 51

3.2. Solar Charge Controller | 59

3.3. Inverter | 62

3.4. Baterai | 64

3.5. Combiner Box | 71

- 3.6. Sistem Monitoring | 72
- 3.7. Penangkal Petir dan Grounding | 73

Bab 4| CARA KERJA, MANFAAT, PEMELIHARAAN DAN PEMASANGAN INSTALASI PANEL SURYA | 75

- 4.1. Cara Kerja | 75
- 4.2. Manfaat | 79
- 4.3. Sistem PLTS | 82
 - 4.3.1. Sistem PLTS Off-Grid | 82
 - 4.3.2. Sistem PLTS On-Grid | 82
 - 4.3.3. Sistem PLTS Hybrid | 83
- 4.4. Pemasangan PLTS | 84
 - 4.4.1. Pemasangan Panel Surya di Tanah | 84
 - 4.4.2. Pemasangan Panel Surya di Atap | 89
- 4.5. Pemeliharaan/Maintenance PLTS | 93
 - 4.5.1. Jenis jenis maintenance PLTS | 94
 - 4.5.2. Pemeliharaan Komponen PLTS | 95
- 4.6. Tahap Pemasangan Instalasi PLTS Secara Industri | 99
- 4.7. Pemasangan Mounting Sistem Sesuai Standar Industri PLTS | 104
 - 4.7.1 Fungsi Mounting Sistem Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya | 104
 - 4.7.2 Fungsi Penggunaan Mounting pada PLTS Atap | 105
- 4.8. Cara Pemasangan Mounting Sistem sebagaiudukan Panel Surya | 106
 - 4.8.1. Persiapkan Peralatan Safety Pekerjaan | 106
 - 4.8.2. Persiapan Peralatan dan Material | 108
 - 4.8.3. Lifting Mounting System | 109
 - 4.8.4. Pengangkatan Rail | 110
 - 4.8.5. Pemasangan Mounting Sistem | 112
 - 2.8.6. Pemasangan Rail | 114

Bab 5| PERAWATAN DAN KERUSAKAN PANEL SURYA | 117

- 5.1. Perawatan pada panel surya | 117
 - 5.1.1. Tujuan perawatan | 117
 - 5.1.2. Jenis-jenis perawatan | 118
- 5.2. Alat Ukur Perawatan Panel Surya | 128
- 5.3. Kerusakan pada panel surya | 132
 - 5.2.1. Panel surya pecah atau retak | 132
 - 5.2.2. Hot spot | 134
 - 5.2.3. Panel Surya Terbakar | 137
 - 5.2.4. MC4 Meleleh | 139
 - 5.2.5. Junction box cacat | 140
 - 5.2.6. Snail Track | 141
 - 5.2.7. Microcrack Pada Panel Surya | 142

Bab 6| PEMASANGAN PADA SISTEM DC SEDERHANA | 143

- 6.1. Direct Current (DC) | 143
- 6.2. Dasar Pengisian Baterai | 145
- 6.3. Desain Sistem | 147
- 6.4. Pengkabelan dengan rangkaian Seri atau Paralel | 151
- 6.5. Menghitung kebutuhan daya | 153
- 6.5. Menentukan Modul daya | 155
- 6.5. Memilih modul yang tepat | 157

Daftar Pustaka | 161

Biografi Penulis | 163

BAB 1

SEJARAH PANEL SURYA

1.1. Sejarah Teknologi Panel Surya

Matahari merupakan bintang raksasa di alam semesta yang menyediakan energi tak terbatas di dalamnya dan merupakan sumber energi yang paling utama bagi kehidupan di bumi. Sumber energi yang dihasilkan matahari sangat melimpah dan bermanfaat. Seiring berjalannya waktu teknologi semakin berkembang, saat ini bentuk pemanfaatan dari energi yang ada di matahari yaitu merubah energi tersebut menjadi energi yang dapat digunakan yaitu menjadi energi listrik.

Energi matahari bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik yang kita butuhkan dalam kehidupan sehari seperti menonton tv, menyetrika, menerangi jalan, menanak nasi dan masih banyak lagi. Teknologi tersebut dinamakan dengan *solar cell* (fotovoltaik) atau panel surya.



Gambar 1.1 *Solar Cell* (Sumber: Google Images)

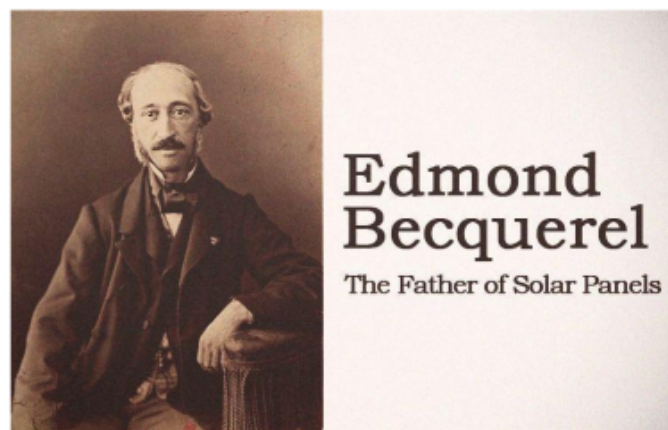
Istilah "fotovoltaik" berasal dari bahasa Yunani (phos) yang berarti "cahaya", dan dari (volt) yang berarti "unit kekuatan-motif elektro", (volta) berasal dari nama terakhir dari fisikawan Italia Alessandro Volta, penemu baterai (sel elektrokimia). Istilah "foto-volta" telah digunakan dalam bahasa Inggris sejak tahun 1849. *Solar cell* adalah perangkat listrik yang mengubah energi cahaya langsung menjadi listrik oleh efek fotovoltaik, yang merupakan bentuk sel fotolistrik bila terkena cahaya, menghasilkan dan mendukung arus listrik tanpa terikat pada eksternal sumber tegangan.

Fotovoltaik adalah bidang teknologi dan penelitian yang berkaitan dengan aplikasi praktis dari sel fotovoltaik dalam memproduksi listrik dari cahaya, meskipun sering digunakan khusus untuk merujuk pada pembangkitan listrik dari sinar matahari. Efek fotovoltaik merupakan proses fisik dasar di mana sel fotovoltaik mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sinar matahari terdiri dari foton yang merupakan paket energi

matahari. Foton ini mengandung jumlah energi berbeda yang sesuai dengan panjang gelombang spektrum matahari yang berbeda. Ketika foton mengenai sel fotovoltaik, mereka dapat dipantulkan atau diserap, atau dapat melewatinya. Foton yang diserap menghasilkan listrik.

Berdasarkan catatan sejarah teknologi panel surya sudah ada sejak abad ke-18, banyak peneliti-peneliti yang melanjutkan dan menyempurnakan dari penelitian sebelumnya. Berikut merupakan beberapa penemu sekaligus menjadi sejarah berkembangnya *solar cell* :

1. Alexandre-Edmund Becquerel (Tahun 1839)



Gambar 1.2 Alexandre-Edmund Becquerel
(Sumber: Google Images)

Alexandre-Edmund Becquerel merupakan seorang ahli fisika asal Perancis yang merupakan penemu tenaga listrik dari cahaya matahari pertama kali. Lahir di Paris, Edmond Becquerel (1820-1891), dikenal dengan studinya dalam spektrum matahari, magnet, listrik dan optik. Ia terkenal karena penemuannya dan mengungkap prinsip energi matahari, efek fotovoltaik. Ia menerima gelar doktor dari

Universitas Paris, dan akhirnya mengambil posisi profesor di Institut Agronomi Versailles.

Ia sangat tertarik pada *phosphorescence* dan *luminescence*, reaksi kimia yang disebabkan oleh paparan zat tertentu ke cahaya. ***Phosphorescence* merupakan proses dimana energi yang diserap oleh zat relatif lambat dalam bentuk cahaya, digunakan untuk material “glow in the dark” yang mendapat energi dari paparan cahaya.** *Luminescence* merupakan kemampuan suatu zat untuk berpendar/menyala dalam gelap.

Pada tahun 1840-an ia menemukan bahwa reaksi ini dapat menghasilkan arus listrik baik dalam cairan maupun logam. Hubungan antara energi cahaya dan energi kimia dimanfaatkan oleh banyak ilmuwan di tahun-tahun berikutnya, dan penelitian telah mengarah pada pengembangan sel fotolistrik.

Perkembangan teknologi surya dimulai pada tahun 1839, Becquerel menemukan "efek fotovoltaiik (PV)" saat bereksperimen dengan elektroda padat dalam larutan elektrolit. Pada usia 19 tahun, di laboratorium ayahnya, perak klorida ditempatkan dalam larutan asam dan disinari sambil dihubungkan ke elektroda platina. Selama percobaan Becquerel menyadari bahwa tegangan telah berkembang ketika cahaya mengenai elektroda. Efek fotovoltaiik kadang-kadang disebut Efek Becquerel.

Penemuannya ini dengan melakukan percobaan menggunakan dua elektroda yang dibalut AgCl dan AgBr (*coated*) bahan sensitif terhadap cahaya kemudian disinari berbagai macam cahaya. Percobaan tersebut dilakukan pada kotak hitam dengan campuran asam disekelilingnya, dan

dalam percobaannya didapatkan tenaga listrik meningkat jika intensitas cahaya juga meningkat.

2. Willoughby Smith (Tahun 1873)



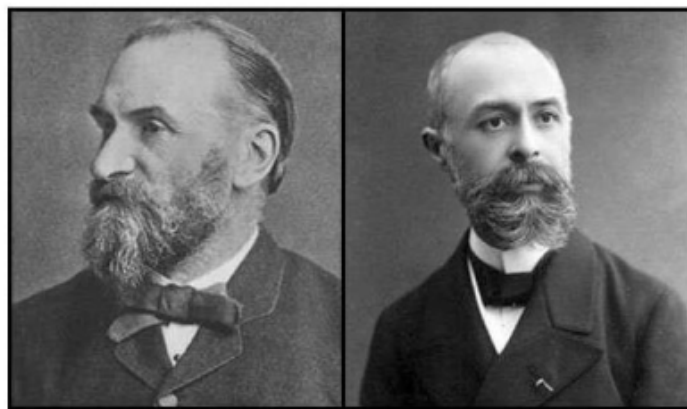
Gambar 1.3 Willoughby Smith
(Sumber: Google Images)

Willoughby Smith yang merupakan seorang insinyur listrik Inggris yang menemukan fotokonduktivitas dari elemen selenium. Penemuan ini akhirnya mengarah pada penemuan sel fotolistrik. Pada tahun 1848, dia mulai bekerja untuk Perusahaan Gutta Percha di London dimana dia mengembangkan kabel besi dan tembaga yang diisolasi untuk digunakan sebagai kabel telegraf di bawah air. Pada tahun 1849, Smith mengawasi pembuatan dan pemasangan kabel telegraf bawah air sepanjang 30 mil dari Dover, Inggris ke Calais, Perancis.

Pada tahun 1873. Smith mengembangkan metode untuk terus menguji kabel bawah air saat sedang dipasang. Untuk rangkaian pengujiannya, ia membutuhkan bahan semi-konduktor dengan resistansi tinggi dan batang selenium

pilihan. Selenium tampaknya berhasil di lab, tetapi dalam praktik sebenarnya perangkat tersebut tidak konsisten. Dia menemukan melalui percobaan laboratorium bahwa konduktivitas batang selenium meningkat secara signifikan saat terkena sinar matahari. Smith menggambarkan "Efek Cahaya Pada Selenium Selama Aliran Arus Listrik" dalam sebuah artikel yang diterbitkan dalam Nature edisi Februari 1873. Selenium menghasilkan arus listrik ketika terkena sinar matahari.

3. William Grylls dan Richard Evans Day (Tahun 1876)



William Grylls

Richard Day

Gambar 1.4 William Grylls dan Richard Evans Day
(Sumber: Google Images)

Profesor William Grylls Adams dari King's College di Inggris dan muridnya Richard Evans Day, membuktikan bahwa energi matahari dapat diubah secara langsung menjadi listrik tanpa ada bagian yang bergerak atau panas. Selama akhir tahun 1870-an mereka melakukan beberapa percobaan pada selenium, dan dalam salah satu percobaan ini mereka menyalakan lilin satu inci dari batang selenium yang sama yang digunakan Willoughby Smith.

Jarum pada alat pengukur mereka langsung bereaksi. Menyaring selenium dari cahaya menyebabkan jarum langsung turun ke nol. Tanggapan cepat ini mengesampingkan kemungkinan bahwa panas nyala lilin telah menghasilkan arus (dikenal sebagai listrik termal). Ketika panas diterapkan atau ditarik dalam eksperimen termoelektrik, jarum pemantau selalu naik atau turun dengan sangat "perlahan". Ini jelas tidak terjadi ketika beberapa bentuk cahaya diterapkan.

Para peneliti menyimpulkan bahwa arus dapat dimulai di selenium hanya dengan aksi cahaya. Mereka merasa yakin telah menemukan sesuatu yang benar-benar baru, bahwa cahaya menyebabkan "aliran listrik" melalui bahan padat. Adams dan Day menyebut arus yang dihasilkan oleh cahaya sebagai "fotolistrik". Namun, ilmuwan modern menyebut fenomena ini sebagai "efek fotovoltaiik".

4. Charles Fritts (Tahun 1883)



Gambar 1.5 Charles Fritts
(Sumber: Google Images)

Panel surya pertama yang sesungguhnya dibuat pada tahun 1883 oleh Charles Edgar Fritts, seorang penemu Amerika, yang membuat modul dengan melapisi pelat lebar tembaga dengan selenium dan kemudian melapisinya dengan lapisan daun emas semi-transparan yang sangat tipis. Fritts melaporkan bahwa modul tersebut menghasilkan arus "yang terus menerus, konstan, dan dengan kekuatan yang besar". Arus tidak hanya responsif terhadap sinar matahari, tetapi juga terhadap cahaya siang yang redup dan bahkan cahaya lilin. Fritts menyarankan bahwa "kita mungkin melihat pelat fotolistrik bersaing dengan pembangkit bahan bakar fosil (berbahan bakar batubara)".

Dalam bahan seperti selenium, beberapa foton membawa energi yang cukup untuk menjatuhkan elektron yang dipegang dengan buruk dari orbit atomnya. Ketika kabel dipasang ke batang selenium, elektron yang dibebaskan mengalir melaluinya dalam bentuk listrik. Modul yang dihasilkan memiliki efisiensi konversi listrik hanya 1% karena sifat selenium. Selain biaya selenium, harga emas yang tinggi membuat modul surya awal ini tidak layak secara komersial.

Fritts mengirim salah satu panel suryanya ke Werner von Siemens, yang reputasi teknisnya berperingkat sama dengan Thomas Edison. Keluaran listrik panel ketika ditempatkan di bawah cahaya sangat mengesankan Siemens sehingga ilmuwan Jerman itu mempresentasikan panel Fritts ke Royal Academy of Prussia. Siemens menyatakan kepada dunia ilmiah bahwa modul-modul Amerika "memperlihatkan kepada kita untuk pertama kalinya, konversi langsung energi cahaya menjadi energi listrik.

5. Heinrich Hertz (Tahun 1887)



Gambar 1.6 Heinrich Hertz
(Sumber: Google Images)

Panel fotovoltaiik bergantung pada prinsip fisika yang disebut efek fotolistrik, yang sebenarnya pertama kali diamati pada tahun 1887 oleh Heinrich Hertz. Ketika cahaya mengenai logam tertentu, elektron dilepaskan dan menjadi bergerak. Atom akan menyerap radiasi elektromagnetik, elektronnya melompat ke keadaan energi yang lebih tinggi dalam langkah-langkah diskrit dan terkuantisasi, yang merupakan bagian dari pondasi mekanika kuantum.

Hertz berfokus pada konsep yang disebut efek fotolistrik, yang terjadi ketika sebuah benda bermuatan listrik kehilangan muatannya dengan sangat cepat saat terkena cahaya, dalam kasusnya, radiasi ultraviolet. Dia mengamati dan menggambarkan efeknya, tetapi tidak pernah menjelaskan mengapa itu terjadi. Itu diserahkan kepada Albert Einstein, yang menerbitkan karyanya sendiri tentang efek tersebut.

Dia menyarankan bahwa cahaya (radiasi elektromagnetik) terdiri dari energi yang dibawa oleh gelombang elektromagnetik dalam paket-paket kecil yang disebut kuantum. Studi Hertz dan karya Einstein selanjutnya akhirnya menjadi dasar bagi cabang fisika penting yang disebut mekanika kuantum. Hertz dan muridnya Philipp Lenard juga bekerja dengan sinar katoda, yang diproduksi di dalam tabung vakum oleh elektroda.

6. Albert Einstein (Tahun 1905)



Gambar 1.7 Albert Einstein

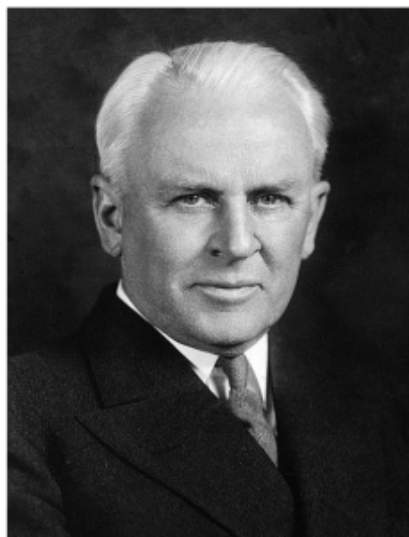
(Sumber: Google Images)

Pada tahun 1905 tulisan mengenai photoelectric effect dipublikasikan oleh Albert Einstein. Teorinya ini sangat sederhana tetapi revolusioner. Albert Einstein percaya bahwa sains di akhir tahun 1800-an gagal memprediksi semua energi yang mengalir dari matahari. Dalam makalah terkenal yang diterbitkan pada tahun 1905, Einstein mendalilkan bahwa cahaya memiliki atribut yang belum dikenali.

Einstein mengatakan cahaya mengandung paket-paket energi yang disebutnya kuantal cahaya (sekarang disebut foton). Dia menyarankan bahwa jumlah daya yang dibawa oleh kuantal cahaya bervariasi sesuai dengan panjang gelombang cahaya - semakin pendek panjang gelombangnya, semakin besar dayanya. Panjang gelombang terpendek, misalnya, mengandung foton yang kira-kira empat kali lebih kuat dari yang terpanjang.

Deskripsi novel Einstein tentang cahaya dikombinasikan dengan penemuan elektron dan penelitian yang terburu-buru tentang perilakunya, semuanya terjadi pada akhir abad ke-19 dan awal ke-20, memberikan fotolistrik dengan kerangka kerja ilmiah yang sebelumnya tidak dimiliki. Teori sekarang bisa menjelaskan fenomena dalam hal dimengerti ilmu pengetahuan. Dalam bahan semikonduktor, foton dapat menjatuhkan elektron dari orbital atomnya, jika dihubungkan dengan benar oleh sirkuit, dapat menghasilkan listrik yang cukup untuk melakukan "usaha".

7. Robert Andrew Millikan (Tahun 1916)



Gambar 1.8 Robert Andrew Millikan (*Sumber: Google Images*)

Tahun 1916 percobaan pembuktian mengenai photoelectric effect yang merupakan pendapat dari Albert Einstein dilakukan oleh seorang ahli fisika yaitu Robert Andrew Millikan berkebangsaan Amerika, ia mendapatkan Nobel Prize untuk karya 2 photoelectric effect. Tahun 1923 Albert Einstein juga mendapatkan Nobel Prize yang dipublikasikan 18 tahun sebelumnya untuk teorinya yang menerangkan photoelectric effect. Hingga tahun 1980an panel surya belum dapat digunakan sebagai sumber daya listrik karena efisiensi dari hasil penelitian terhadap panel surya masih sangat rendah.

8. Bell Labs (Tahun 1954)



Gambar 1.9 Bell Labs
(Sumber: Google Images)

Pada bulan April 1954 silikon yang sedikit dimodifikasi disebut "sel surya", yang mengubah sinar matahari langsung menjadi energi listrik diresmikan oleh Bell Labs Laboratories di Murray Hill, NJ. Sel surya adalah hasil dari penelitian transistor. Bekerja dengan efisiensi hanya 6%, yang sebanding

dengan kinerja mesin bensin biasa pada saat itu. Penemunya adalah: Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin, dan Calvin S. Fuller. Sel surya pada akhirnya akan menjadi sumber "energi matahari yang tak terbatas". Sel surya beroperasi dengan prinsip yang sama yang mendasari transistor. Persimpangan diatur dalam kristal silikon. Persimpangan berarti bahwa kristal dibagi menjadi dua zona, satu mengandung sedikit zat yang menghasilkan kelebihan elektron bergerak.

Zona lainnya juga memiliki sedikit zat yang menyerap elektron dan menghasilkan "lubang" yang dapat dipindahkan (ruang tempat elektron seharusnya berada). Di persimpangan antara dua zona selalu ada tegangan kecil. Kuantum cahaya (foton) yang jatuh di persimpangan akan menjatuhkan elektron dari salah satu atom kristal, menciptakan pasangan elektron dan lubang yang lepas. Karena perbedaan tegangan yang konstan, elektron didorong ke satu arah dan lubang ke arah lainnya.

Jika zona dihubungkan oleh sirkuit eksternal, arus listrik akan mengalir melalui sirkuit. Ilmuwan Bell percaya bahwa angka efisiensi dapat dinaikkan menjadi 10 persen melalui teknik rekayasa normal. Rakitan silikon yang menutupi satu halaman persegi bisa menghasilkan daya 50 watt. Bell Labs mengharapkannya berguna sebagai sumber daya kecil untuk aplikasi seperti sistem telepon pedesaan.

9. Sel Surya Silikon Diproduksi Secara Komersial (Tahun 1956)

surya pertama tersedia secara komersial. Namun, biayanya jauh dari jangkauan orang biasa, dengan harga \$300 untuk modul surya satu watt, biayanya jauh di luar

kemampuan siapa pun. Sel surya kecil mulai digunakan dalam mainan dan radio. Hal baru ini adalah barang pertama yang menggunakan sel surya yang tersedia untuk konsumen.

Pada akhir 1950-an dan awal 1960-an satelit di program luar angkasa AS dan Soviet ditenagai oleh panel surya dimana biayanya tidak kritis. Pertimbangan lain seperti ukuran, efisiensi, dan daya tahan menjadi perhatian desain utama. Pada akhir 1960-an, tenaga surya menjadi standar untuk menyalakan hampir semua satelit ruang angkasa dan efisiensinya mencapai sekitar 14 persen.

Pada awal 1970-an, Dr. Elliot Berman, ketua dan pendiri *Solar Power Corporation*, merancang modul surya yang jauh lebih murah dengan menggunakan tingkat silikon yang kurang murni (ditolak dari semikonduktor) dan teknik pembuatan yang mirip dengan produksi film fotografi. Hal tersebut menurunkan harga dari \$100 per watt menjadi sekitar \$20 per watt. Penelitiannya didanai oleh Exxon Corporation. Perkembangan ini menurunkan tenaga surya dari satelit luar angkasa ke aplikasi yang terikat bumi.

Periode dari tahun 1970-an hingga 1990-an terlihat cukup banyak perubahan dalam penggunaan sel surya. Mulai muncul di tempat-tempat terpencil untuk menggerakkan rumah. Australia menggunakan sel surya di menara gelombang mikro untuk memperluas kemampuan telekomunikasi.

10. Solar Panel untuk Mobil RV (Tahun 1995)

Penelitian panel surya terus berkembang ke industri komersial lainnya: Thomas Faludy mengajukan paten pada tahun 1995 untuk tenda yang dapat ditarik dengan sel surya

terintegrasi. Ini adalah salah satu pertama kalinya sel surya digunakan dalam kendaraan rekreasi. Saat ini, fitur ini adalah cara yang populer untuk menyalakan RV.

11. 1994–1999: Pencapaian Baru Konversi Fotovoltaik

Pada tahun 1994, Laboratorium Energi Terbarukan Nasional mengembangkan sel surya baru dari gallium indium phosphide dan gallium arsenide yang melebihi efisiensi konversi 30%. Pada akhir abad itu, laboratorium menciptakan sel surya film tipis yang mengubah 32% sinar matahari yang dikumpulkannya menjadi energi yang dapat digunakan.

12. 2005: Solar Panel DIY Menjadi Populer

Teknologi dan efisiensi sel surya meningkat, tenaga surya perumahan menjadi lebih populer. Panel surya DIY mulai memasuki pasar pada tahun 2005 dan menjadi lebih umum setiap tahun baru. Saat ini, ada banyak cara untuk membuat panel surya sendiri, mulai dari menyusun panel surya hingga merencanakan panel surya.

13. 2015: Panel Surya Memasuki Pasar

Sel surya setipis kertas kini dapat diproduksi menggunakan printer industri dan dibuat menjadi produk seperti genteng atau sirap. Mereka memiliki efisiensi konversi daya 20%, dan satu strip dapat menghasilkan hingga 50 watt per meter persegi, membuat biaya energi matahari perumahan lebih rendah dari sebelumnya. Ini juga merupakan kabar baik bagi 1,3 miliar orang di negara berkembang, karena strip fleksibel dan tidak mahal untuk diproduksi.

14. 2016: Penemuan Panel Surya Tanpa Matahari

Sebuah tim peneliti dari University of California, Berkeley, dan Australian National University menemukan sifat baru. Salah satu sifat ini disebut dispersi hiperbolik magnetik, yang berarti bahan bersinar saat dipanaskan. Jika digabungkan dengan sel termo fotovoltaiik, bisa mengubah panas menjadi listrik tanpa membutuhkan sinar matahari.

Tenaga surya telah berkembang pesat dalam 200 tahun terakhir, dari mengamati sifat-sifat cahaya hingga menemukan cara baru untuk mengubahnya menjadi tenaga. Teknologi ini tidak menunjukkan tanda-tanda melambat, berkembang dengan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya.

2.1. Perkembangan Panel Surya di Indonesia

Pembangkit Listrik Tenaga Surya diperkirakan akan terus mengalami peningkatan dan mulai banyak digunakan oleh berbagai kalangan di Indonesia. Masyarakat menyadari bahwa energi yang dihasilkan dari matahari dapat digunakan sepanjang masa secara gratis dan tidak akan pernah habis. Sebagai negara tropis penggunaan energi terbarukan di Indonesia jauh lebih maksimal karena berada di garis khatulistiwa sehingga potensinya jauh lebih besar untuk menyerap energi lebih banyak setiap harinya.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi surya atau panas dari matahari yang diserap oleh panel surya melalui proses fotovoltaiik. ² Pemanfaatan penggunaan energi surya di

berbagai sektor kini terasa semakin masif. Pasar rumah tangga dan industri juga sudah mulai melirik penghematan yang bisa didapatkan dari instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).² Begitupun dengan sektor komersial, pasarnya sudah mulai merambah dari perusahaan lokal sehingga perusahaan multinasional di berbagai pelosok daerah.

Efisiensi dari pemakaian pembangkit listrik tenaga surya menjadi salah satu perhatian konsumen rumahan atau perusahaan yang ingin menghemat listrik dengan menggunakan energi bersih dan juga dengan pemeliharaan yang tidak mahal. Selain dari faktor efisiensi terhadap biaya listrik serta semangat demokratis energi masa depan, instalasi PLTS diyakini dapat berkontribusi nyata atas pengurangan dampak perubahan iklim dan dukungan pemerintah dalam mewujudkan Indonesia Nol Emisi Karbon di tahun 2060.

Pengembangan produksi dari panel surya atau yang biasa disebut dengan *photovoltaic* masih sangat sedikit, bahkan belum ada perkembangan sama sekali. Dibutuhkan dukungan pemerintah untuk terus mendorong *Research and Development* terkait dengan *photovoltaic*. Bagaimana agar bisa mendapatkan panel surya dengan harga ekonomis dan dengan efisiensi yang maksimal.

Di tengah krisis iklim yang semakin hari semakin parah, para peneliti fokus mencari solusi untuk menghadirkan sumber energi yang bersih dan bisa mengurangi dampak dari krisis iklim. Tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga murah dan bisa dijangkau oleh masyarakat menengah ke bawah. Hal itulah yang coba dilakukan oleh Noor Titan Putri Hartono, peneliti muda MIT asal Indonesia, yang bercita-cita membantu

pemerataan akses listrik di tanah air. Sejak tahun 2016, ia fokus mengembangkan material panel surya yang lebih murah dan lebih efisien.

Harga yang mahal dan sulitnya kalangan menengah ke bawah dapat menikmati listrik yang bersumber dari energi surya, itulah yang mendorong seorang Titan dalam menekuni penelitiannya tersebut. Pemerataan akses listrik di Indonesia menurutnya bisa banyak terbantu dengan teknologi panel surya. Bukan hanya karena ramah lingkungan saja, tetapi dengan menggunakan panel surya, tidak membutuhkan jaringan transmisi dari pulau jawa atau pulau lainnya yang sudah mempunyai jaringan transmisi.

² Titan memulai pencarian material panel surya murah ketika mengambil studi pascasarjana di MIT. Formula perovskite yang stabil lantas menjadi fokus utama Titan. Perovskite sendiri adalah material yang sudah ditemukan sejak abad ke-19. Akan tetapi, jenis Perovskite ini dikembangkan khusus untuk panel surya baru yang diteliti sekitar satu dekade terakhir.

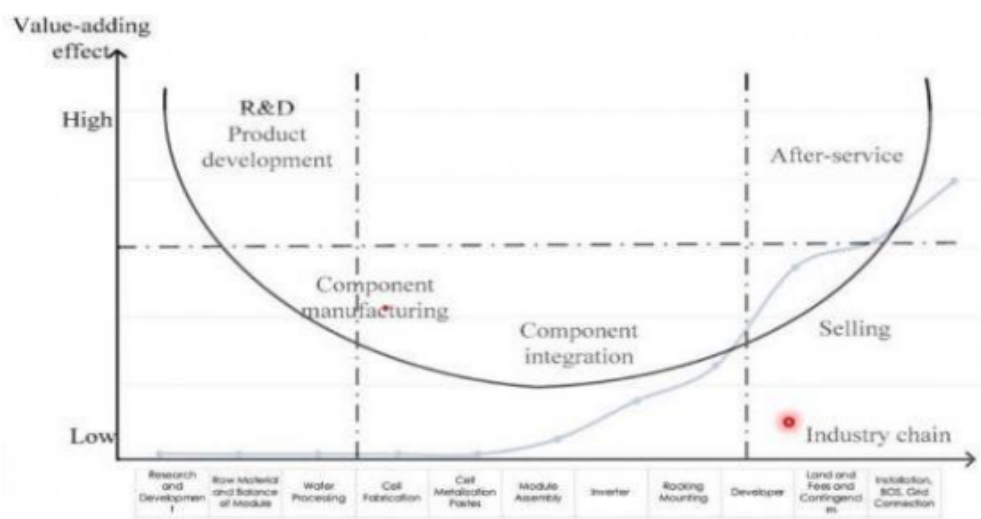
Setelah membuat sekitar 1000 sampel, akhirnya Titan berhasil menciptakan komposisi perovskite yang delapan kali lebih stabil dari sebelumnya. Perjalanan untuk sampai pada tahap produksi massal sebagai bahan utama panel surya masih amat panjang. Penelitian ini belum selesai, setelah meraih gelar PhD dari MIT pada Juni lalu, Titan berencana melanjutkan kiprahnya ke Jerman untuk terus mencari solusi dari energi terbarukan yang murah dan mudah diakses oleh masyarakat dari berbagai golongan.

Pengembangan material dari panel surya tidak lepas dari adanya dukungan pemerintah dalam mendorong riset dan

pengembangan bahan material panel surya tersebut di Indonesia. Jika melihat hasil analisis dari *smiling curve* pengembangan industri panel surya di Indonesia dan Cina, Indonesia masih sangat berfokus pada *component integration*, *selling*, dan juga *after service*.

China menunjukkan *smiling curve* pada kurva hubungan antara *value adding effect* dan *industrial chain*. China mampu membentuk lengkungan yang apik dalam kurva pengembangan pembangkit listrik tenaga surya karena keunggulannya di bidang teknologi dan ilmu pengetahuan.

Pada diagram tersebut dapat disimpulkan bahwa saat ini China dan Taiwan menguasai pasar PV secara global. Dilihat dari potensinya, Indonesia mempunyai potensi cahaya matahari yang jauh lebih besar dibandingkan dengan kedua negara tersebut. Perencanaan energi dan peningkatan riset harus terus diupayakan agar dapat menjamin ketersediaan material utama energi jangka panjang dan dapat dijangkau dari setiap kalangan.



Gambar 1.10 Kurva Pengembangan PLTS
(Sumber: Google Images)

4

Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan *roadmap* pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya di masa datang.



Gambar 1.11 PLTS di Indonesia (*Sumber: esdm.go.id*)

4

Komponen utama sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan menggunakan teknologi fotovoltaik adalah sel surya. Saat ini terdapat banyak teknologi pembuatan sel surya. Sel surya konvensional yang sudah komersil saat ini menggunakan teknologi wafer silikon kristalin yang proses produksinya cukup kompleks dan mahal.

Secara umum, pembuatan sel surya konvensional diawali dengan proses pemurnian silika untuk menghasilkan silika

solar grade (ingot), dilanjutkan dengan pemotongan silika menjadi wafer silika. Selanjutnya wafer silika diproses menjadi sel surya, kemudian sel-sel surya disusun membentuk modul surya. Tahap terakhir adalah mengintegrasikan modul surya dengan BOS (*Balance of System*) menjadi sistem PLTS. BOS adalah komponen pendukung yang digunakan dalam sistem PLTS seperti inverter, baterai, sistem kontrol, dan lain-lain.

Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. Secara teknologi, industri *photovoltaic* (PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS.

Harga yang masih tinggi menjadi isu penting dalam perkembangan industri sel surya. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lain.

Mengingat rasio elektrifikasi di Indonesia baru mencapai 55-60% dan hampir seluruh daerah yang belum dialiri listrik adalah daerah pedesaan yang jauh dari pusat pembangkit listrik, maka PLTS yang dapat dibangun hampir di semua lokasi merupakan alternatif sangat tepat untuk dikembangkan.

Dalam kurun waktu tahun 2005-2025, pemerintah telah merencanakan menyediakan 1 juta *Solar Home System* berkapasitas 50 Wp untuk masyarakat berpendapatan rendah serta 346,5 MWp PLTS hybrid untuk daerah terpencil.

Hingga tahun 2025 pemerintah merencanakan akan ada sekitar 0,87 GW kapasitas PLTS terpasang. Asumsi penguasaan pasar hingga 50%, pasar energi surya di Indonesia sudah cukup besar untuk menyerap keluaran dari suatu pabrik sel surya berkapasitas hingga 25 MWp per tahun. Hal ini tentu merupakan peluang besar bagi industri lokal untuk mengembangkan bisnisnya ke pabrikasi sel surya.

BAB 2

JENIS-JENIS PANEL SURYA

Sistem panel surya menggunakan susunan modul yang terdiri dari sel surya untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya adalah blok bangunan dari modul surya, yang selanjutnya jika dirangkai kembali akan menjadi susunan modul surya atau yang umumnya disebut rangkaian. Sel fotovoltaiik adalah piringan tipis atau film dari bahan semikonduktor yang menghasilkan listrik saat terkena sinar matahari karena efek fotolistrik.

Efek fotolistrik ⁹ pertama kali diobservasi pada tahun 1839 oleh Edmund Becquerel, seorang Fisikawan Prancis, yang menemukan bahwa bahan-bahan tertentu akan menghasilkan sejumlah kecil listrik ketika terkena sinar matahari. Sel surya pertama dibangun oleh Fritts pada tahun 1883, yang melapisi selenium semikonduktor dengan lapisan emas yang sangat tipis untuk membentuk persimpangan (1% efisien).

Era modern teknologi tenaga surya dimulai pada tahun 1954 ketika Chapin, Fuller, dan Pearson dari Bell Laboratories menemukan bahwa silikon yang dicampur dengan pengotor tertentu mampu menghasilkan listrik untuk satelit. Perangkat ini awalnya dikenal sebagai baterai surya (saat ini disebut sel surya) dan mengeksploitasi prinsip persimpangan P-N. Awalnya, efisiensi untuk mengkonversi energi sel adalah 6%, dan mencapai 11% pada tahun 1957 kemudian 14% pada tahun 1960.

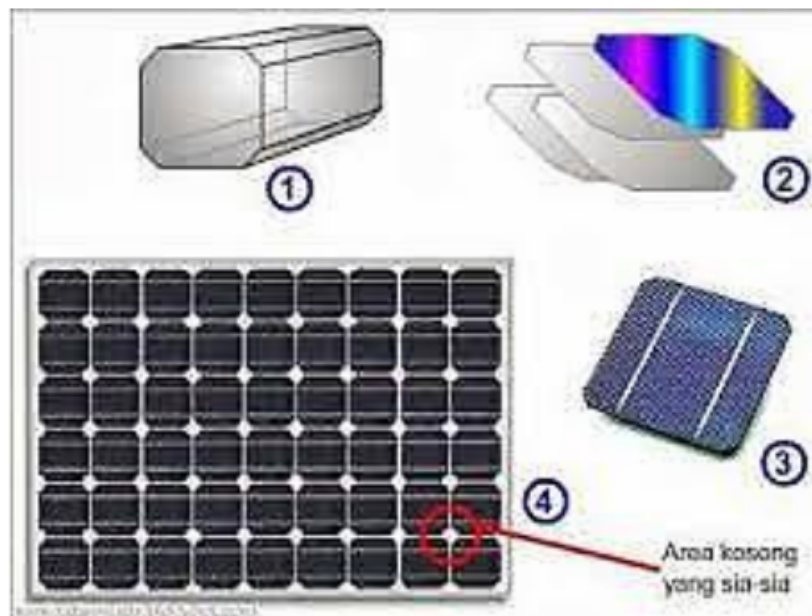
Sel surya adalah perangkat non-mekanis yang biasanya terbuat dari silikon yang menciptakan ketidakseimbangan elektron di seluruh sel dan menghasilkan arus searah sebagai akibat dari sinar matahari yang datang. Ada juga sel surya non-semikonduktor yang sedang dikembangkan. Berikut dibawah ini tiga generasi pengembangan sel surya.

2.1. Monokristalin

Panel surya tipe monokristalin terbuat dari irisan tipis batangan kristal silikon murni. Teknik pembuatannya hampir menyerupai pengolahan keripik pisang, dimana satu pisang akan diiris tipis menjadi kepingan keripik yang siap digoreng. Berbeda dengan keripik pisang yang dapat diiris menggunakan alat sederhana, pengirisan kristal silikon murni menjadi kepingan tipis membutuhkan teknologi khusus. Penggunaan teknologi khusus untuk pemotongan kristal silikon murni tersebut menghasilkan irisan sel surya yang presisi dan sama, sehingga menjadi sel surya yang memiliki nilai efisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis yang lain, yaitu sekitar 15% - 20%. Mahalnya harga bahan baku dan

proses produksi menjadi penyebab sel surya monokristalin lebih mahal di pasaran dibandingkan jenis yang lain.

Kekurangan sel surya monokristalin adalah jika disusun membentuk modul surya akan meninggalkan banyak ruang kosong karena mengikuti rupa batangan kristal silikon yang umumnya mempunyai wujud segi enam atau bulat. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini, berikut adalah gambar kristal silikon murni:



Gambar 2.1 Proses dari batangan kristal silikon hingga modul surya

Keterangan gambar:

1. Batangan kristal silikon murni sebelum diiris
2. Kepingan kristal silikon yang diiris tipis
3. Sel surya monokristalin yang telah jadi, siap disusun menjadi modul surya
4. Susunan sel surya monokristalin yang digabungkan menjadi satu. Terlihat pada gambar, terdapat area kosong pada modul surya tidak terisi karena bentuk dari kristal silikon monokristalin.

Sel surya monokristalin juga disebut sebagai sel kristal tunggal. Sel surya jenis ini dapat dengan mudah dikenali dari warnanya yang hitam pekat. Bahan baku sel monokristalin terbuat dari silikon yang sangat murni, hal ini yang menjadikan sel surya monokristalin paling efisien untuk mengkonversi foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik.

Sel surya monokristalin merupakan generasi pertama yang terbuat dari batangan kristal silikon yang sangat murni (biasanya silikon kristal (c-Si)). Sel surya ini dikembangkan pada 1950-an sebagai sel surya generasi pertama. Sel surya monokristalin menggunakan kepingan batangan kristal silikon, dengan ketebalan sekitar 0,3 mm yang diiris dari batangan silikon kristal. Produksinya menggunakan proses *Czochralski* yang ditemukan pada tahun 1916, yaitu metode pertumbuhan kristal untuk mendapatkan kristal tunggal semikonduktor, logam, dan garam dengan aplikasi paling penting dalam pertumbuhan batangan silinder silikon kristal.

Ruang produksi dipanaskan hingga 1500°C untuk melelehkan silikon mentah dalam wadah. Atom pengotor ditambahkan untuk mendoping silikon untuk membuatnya menjadi tipe-P atau tipe-N. Ketika silikon sepenuhnya meleleh, poros berputar yang dipasang dengan kristal benih dicelupkan dan ditarik ke atas dengan mengontrol gradien suhu, laju tarikan, dan kecepatan rotasi. Silikon kemudian dipotong menjadi irisan kecil.

Dalam proses ekstraksi pertama, silikon masih mengandung sejumlah besar pengotor yang tidak diinginkan dan biasanya disebut sebagai silikon kelas metalurgi. Proses pemurnian

selanjutnya pertama-tama melibatkan pembuatan SiHCl_3 (triklorosilan) dengannya, yang pada fase pertama masih akan mengandung sejumlah besar elemen yang tidak diinginkan.

Hal ini dilakukan karena SiHCl_3 adalah senyawa cair, dengan cairan lebih mudah dimurnikan daripada padatan. Setelah proses pemurnian ini, diperoleh SiHCl_3 dengan kemurnian tinggi. Maka perlu untuk memulihkan kembali bentuk padat silikon. Mencampur SiHCl_3 dengan H_2 dan memanaskannya menghasilkan polisilikon (padat) dan HCl . Polisilikon ini, meskipun lebih murni, masih bukan merupakan monokristal. Produksi akhir monokristal dapat dilakukan dengan proses yang dikenal sebagai *Czochralski*.

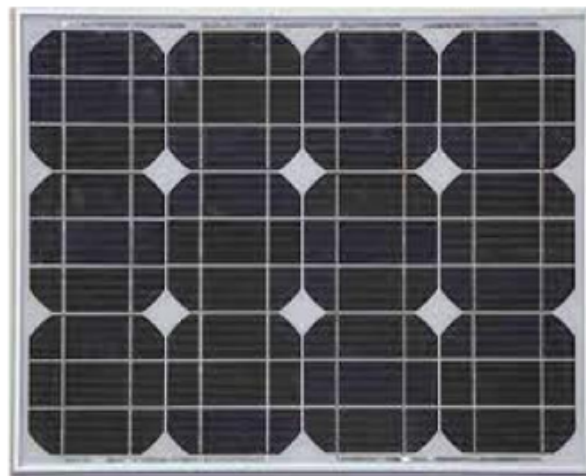
Hasil akhirnya adalah sebatang silikon berbentuk lingkaran, yang dapat diukur beberapa meter dan memiliki diameter beberapa inci. Batangan ini selanjutnya melalui proses pemotongan, dari mana wafer yang dengannya sel surya silikon monokristalin diproduksi akhirnya diekstraksi. Selama proses pemotongan silikon, sejumlah besar bahan terbuang (40%-50%)

Sel monokristalin lebih mahal untuk diproduksi dan biasanya memiliki efisiensi yang sedikit lebih tinggi yaitu pada 15-22% daripada sel polikristalin konvensional. Shockley dan Queisser, pada tahun 1961, menghitung efisiensi termodinamika maksimum untuk konversi radiasi tak terkonsentrasi menjadi energi bebas listrik dalam batas radiasi menjadi 31%.

Sel surya monokristalin sangat efisien, mendekati efisiensi teoritisnya dalam semikonduktor dengan celah pita mulai dari sekitar 1,25 hingga 1,45 eV tetapi memiliki harga tinggi di

pasaran karena proses pembuatan yang digunakan untuk membuatnya. Sel surya yang diproduksi secara massal kurang efisien dan hanya mencapai efisiensi 10%.

Panel monokristalin memiliki umur yang panjang. Sebagian besar produsen memberikan garansi 25 tahun pada produk panel surya monokristalinnya. Karena kedua jenis panel surya (monokristalin dan polikristalin) terbuat dari silikon kristal, bahan yang sangat stabil, yang kemungkinan akan bertahan lebih lama dari masa garansi 25 tahun.



Gambar 2.2 Modul surya monokristalin

Prinsip ¹¹ kerja panel surya monokristalin adalah ketika sinar matahari jatuh pada panel surya monokristalin, sel-sel menyerap energi, dan melalui proses yang rumit menciptakan medan listrik. Medan listrik ini terdiri dari tegangan dan arus dan menghasilkan daya yang diatur oleh persamaan $P \text{ (daya)} = V \text{ (tegangan)} \times I \text{ (arus)}$. Daya ini dapat digunakan langsung ke perangkat daya yang berjalan pada arus searah (DC). Daya ini juga dapat diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter.

Panel surya monokristalin biasanya memiliki efisiensi dan kapasitas daya tertinggi dari semua jenis panel surya. Efisiensi panel monokristalin dapat berkisar antara 15% hingga 20% karena sel surya monokristalin terbuat dari kristal tunggal silikon, elektron dapat mengalir lebih mudah melalui sel, yang membuat efisiensi sel surya lebih tinggi daripada jenis panel surya lainnya.

Efisiensi yang lebih tinggi dari panel surya monokristalin berarti bahwa panel ini membutuhkan lebih sedikit ruang untuk mencapai kapasitas daya tertentu. Jadi, panel surya monokristalin biasanya akan memiliki peringkat output daya yang lebih tinggi daripada modul polikristalin atau *thin film*, atau dengan kata lain, hanya dibutuhkan lebih sedikit panel surya monokristalin dalam sistem tenaga surya untuk menghasilkan jumlah daya yang sama dibandingkan dengan panel surya polikristalin. Hal ini membuat panel surya monokristalin ideal untuk orang dengan ruang atap terbatas.

Panel surya monokristalin memiliki banyak aplikasi sebagai berikut:

1. Lebih efisien, panel ini dapat menghasilkan lebih banyak listrik untuk area sama seperti yang ditempati oleh panel yang terbuat dari bahan lain. Panel ini cukup populer di kalangan atap surya di daerah perkotaan dan pedesaan.
2. Panel ini sangat direkomendasikan untuk aplikasi surya dalam skala yang lebih besar, di lahan luas.
3. Panel yang lebih kecil yang menghasilkan listrik antara 5 dan 25 Watt berguna untuk mengisi daya ponsel, kamera, dan laptop.

4. Panel yang menghasilkan antara 40 dan 130 Watt berguna untuk memberi daya pada peralatan dengan watt lebih tinggi seperti lemari es dan oven *microwave*.
5. Panel ini sangat berguna dalam menerangi taman
6. Panel ini dapat membentuk susunan dan digunakan untuk memberi daya pada rumah pedesaan.
7. Panel ini cocok untuk penerangan jalan sebagai panel yang berdiri sendiri (on grid).

Harga panel surya monokristalin lebih tinggi daripada jenis panel surya lainnya karena cara panel ini diproduksi. Efisiensi tinggi dan peringkat daya mereka juga menaikkan harga. Menurut Lawrence Berkeley *National Laboratory*, panel surya monokristalin dijual sekitar \$ 0,05 (sekitar Rp 749,17) per watt lebih tinggi daripada modul polikristalin.

Karena teknologi dan manufaktur surya telah meningkat, perbedaan harga antara panel polikristalin dan monokristalin telah menyusut. Meskipun panel surya monokristalin adalah sel surya paling efisien di pasaran, panel ini tetap memiliki keuntungan dan kerugian. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan panel surya monokristalin:

1. Kelebihan

- a. Memiliki tingkat efisiensi tertinggi pada 15 hingga 22%.
- b. Membutuhkan lebih sedikit ruang dibandingkan dengan jenis lain karena efisiensinya yang tinggi.
- c. Produsen menyatakan bahwa sel surya monokristalin bertahan paling lama, dengan sebagian besar memiliki garansi 25 tahun.
- d. Memiliki ketahanan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel lain.

- e. Bekerja lebih baik di tingkat sinar matahari yang rendah, menjadikan panel surya monokristalin cocok untuk daerah berawan.

2. Kekurangan

- a. Monokristalin merupakan sel surya paling mahal di pasaran, jadi tidak masuk dalam kisaran harga semua orang.
- b. Saat sedang bekerja cenderung mengalami peningkatan suhu, namun hal tersebut adalah kerugian kecil jika dibandingkan dengan sel surya lainnya.
- c. Ketika silikon dipotong selama pembuatan, menghasilkan banyak limbah.

Adapun cara pembuatan panel surya monokristalin adalah sebagai berikut

1. Bahan baku

Komponen dasar sel surya adalah silikon murni, yang tidak murni dalam keadaan alamnya. Silikon murni berasal dari silikon dioksida seperti kerikil kuarsit (silika paling murni) atau kuarsa yang dihancurkan. Silikon murni yang dihasilkan kemudian diolah dengan fosfor dan boron untuk menghasilkan kelebihan elektron dan kekurangan elektron masing – masing untuk membuat semikonduktor yang mampu menghantarkan listrik. Hasil dari proses tersebut menghasilkan disk silikon yang mengkilap dan membutuhkan lapisan anti reflektif. Bahan yang digunakan untuk membuat lapisan anti reflektif biasanya menggunakan titanium dioksida.

Dalam modul surya terdapat semikonduktor silikon yang dikelilingi oleh bahan pelindung di dalam bingkai logam.

Bahan pelindung terdiri atas enkapsulan karet silikon transparan atau plastik butiril (biasa digunakan pada kaca depan mobil) yang diikat di sekitar sel, dan kemudian tertanam dalam etilen vinil asetat. Film polyester (seperti mylar atau tedlar) membentuk bagian belakangnya. Komponen elektronik standar, dan sebagian besar terbuat dari tembaga. Rangkanya terbuat dari baja atau aluminium dan silikon digunakan sebagai semen untuk menyatukan semuanya.

2. Proses manufaktur

a. Pemurnian silikon

- 1) Silikon dioksida dari kerikil kuarsit atau kuarsa yang dihancurkan ditempatkan ke dalam arc furnace (tungku busur listrik). Busur karbon kemudian diterapkan untuk melepaskan oksigen. Produk dari proses ini adalah karbon dioksida dan silikon cair. Proses sederhana ini menghasilkan silikon dengan pengotor satu persen, berguna di banyak industri tetapi tidak di industri sel surya.
- 2) Silikon murni (99%) dimurnikan kembali menggunakan teknik floating zone (zona mengambang) atau metode pertumbuhan kristal tanpa wadah. Batang silikon tidak murni dilewatkan melalui zona panas beberapa kali ke arah yang sama. Prosedur ini membawa kotoran menuju satu ujung dari setiap lintasan. Pada titik tertentu, silikon dianggap murni, dan ujung yang tidak murni dibuang.

3. Membuat silikon kristal tunggal

Sel surya terbuat dari boule silikon, struktur polikristalin yang memiliki struktur atom kristal tunggal. Proses yang

paling umum digunakan untuk membuat boule disebut metode Czochralski. Dalam proses ini, benih kristal silikon dicelupkan ke dalam silikon polikristalin yang meleleh. Saat kristal benih ditarik dan diputar, batangan silinder atau boule silikon terbentuk. Hasil batangan yang ditarik sangat murni, karena kotoran cenderung tetap berada dalam cairan.

4. Membuat wafer silikon

- a. Dari boule, wafer silikon diiris satu per satu menggunakan gergaji bundar, adapun pemotongan dengan skala banyak menggunakan gergaji multi wire. Hanya sekitar setengah dari silikon yang hilang dari boule ke wafer yang sudah jadi—lebih banyak lagi jika wafer kemudian dipotong menjadi persegi panjang atau heksagonal. Wafer persegi panjang atau heksagonal kadang-kadang digunakan dalam sel surya karena mereka dapat dipasang bersama dengan sempurna, sehingga memanfaatkan semua ruang yang tersedia di permukaan depan sel surya.
- b. Wafer kemudian dipoles untuk menghilangkan bekas gergaji. (Baru-baru ini ditemukan bahwa sel yang lebih kasar menyerap cahaya lebih efektif, oleh karena itu beberapa produsen memilih untuk tidak memoles wafer.)

5. Doping

- a. Cara tradisional doping (menambahkan kotoran ke) wafer silikon dengan boron dan fosfor adalah memasukkan sejumlah kecil boron selama proses. Wafer kemudian disegel kembali dan ditempatkan dalam

tungku untuk dipanaskan sedikit di bawah titik leleh silikon (2.570 derajat Fahrenheit atau 1.410 derajat Celcius) dengan adanya gas fosfor. Atom fosfor "menggali" ke dalam silikon, yang lebih berpori karena hampir menjadi cairan. Suhu dan waktu yang diberikan untuk proses dikontrol dengan hati-hati untuk memastikan sambungan yang seragam dengan kedalaman yang tepat.

- b. Cara yang lebih baru untuk mendoping silikon dengan fosfor¹ adalah dengan menggunakan akselerator partikel kecil untuk menembakkan ion fosfor ke dalam batangan. Dengan mengontrol kecepatan ion, dimungkinkan untuk mengontrol kedalaman penetrasi mereka. Proses baru ini, umumnya belum diterima oleh produsen komersial.

6. Lapisan anti-reflektif¹

Karena silikon murni mengkilap, ia dapat memantulkan hingga 35 persen sinar matahari. Untuk mengurangi jumlah sinar matahari yang dipantulkan, lapisan anti reflektif diletakkan pada wafer silikon. Pelapis yang paling umum digunakan adalah titanium dioksida dan silikon oksida. Bahan yang digunakan untuk pelapisan dipanaskan sampai molekulnya mendidih dan bergerak ke silikon dan kondensor, atau bahan tersebut mengalami sputtering.

Dalam proses ini, tegangan yang tinggi akan menjatuhkan molekul dari material dan menyimpannya ke silikon di elektroda yang berlawanan. Metode lain yang digunakan adalah membiarkan silikon bereaksi sendiri dengan gas yang mengandung oksigen/nitrogen untuk membentuk

silikon dioksida atau silikon nitrida. Produsen sel surya komersial biasanya menggunakan silikon nitrida.

7. Enkapsulasi sel

Sel surya yang sudah jadi kemudian dienkapsulasi dengan cara disegel ke dalam karet silikon atau etilen vinil asetat. Sel surya yang dienkapsulasi kemudian ditempatkan ke dalam bingkai aluminium yang memiliki mylar atau tedlar pada lembar belakangnya yang mana juga terdapat penutup kaca atau plastik.

2.2 Polikristalin

Sel surya polikristalin termasuk dalam jenis kedua dari sel surya generasi pertama dan dibuat dari potongan irisan dari blok silikon. Sel surya ini mengandung banyak kristal silikon yang membuatnya lebih mudah untuk memproduksi wafer dalam cetakan daripada kristal tunggal (monokristalin), sehingga lebih murah. Sel surya polikristalin sedikit kurang efisien daripada monokristalin tetapi telah meningkatkan efisiensi selama beberapa tahun terakhir.

Sel ini sekarang bersaing dengan monokristalin dalam hal efisiensi tetapi lebih murah. Polikristalin dibuat dengan menggergaji silikon berbentuk persegi yang terlebih dahulu dibuat menjadi batangan dan kemudian menjadi wafer. Dalam proses ini, silikon kristal polikristalin cair pertama-tama dituangkan ke dalam wadah cetakan besar dan dengan hati-hati, kemudian didinginkan dan dipadatkan.

Sel surya polikristalin biasanya memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah yaitu 13-15% sehingga menghasilkan sel

individu yang lebih besar dan modul yang sedikit lebih besar pula.

Secara fisik panel surya jenis ini dapat diketahui dari warna sel yang cenderung biru dengan bentuk persegi. Untuk menghasilkan daya listrik yang sama memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristalin, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Berikut adalah Panel Surya tipe Polycrystalline yang terlampir pada Gambar 1.1.

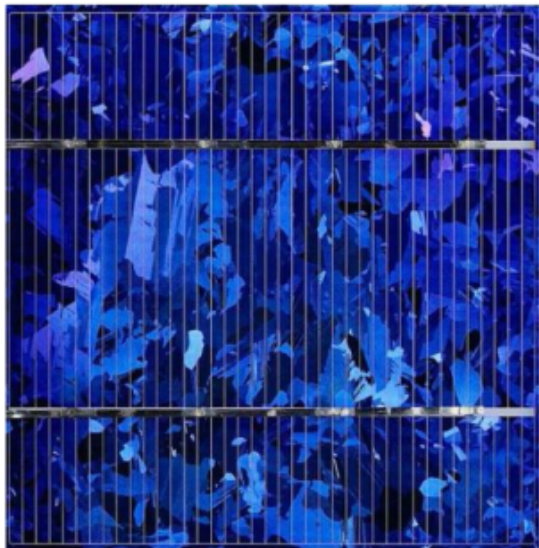


Gambar 2.3 Panel Surya tipe Polycrystalline
(Sumber : Satria Wibowo, 2020)

Tabel 1.1 Keterangan *Polycrystalline*

Keterangan	Panel Surya Polycrystalline
Jenis Sel Surya	Campuran silikon dengan material lain
Harga Jual	Mulai dari Rp. 8.848,-
Garansi	+/- 25 Tahun
Estetika	Rata-rata berwarna kebiruan
Kebutuhan Area	8-9 m ² per 1 kWp
Efisiensi Panel	Sekitar 13-18%
Ketahanan Suhu	Kurang efisien dalam suhu yang lebih tinggi
Lainnya	Lebih sedikit menggunakan dan menghasilkan limbah silikon

Penggunaan sel silikon polikristalin merupakan strategi pengurangan biaya dengan mengurangi biaya wafer. Silikon polikristalin tidak lebih dari silikon yang terdiri dari butiran silikon kristal. Prinsip pada bahan ini sebenarnya dapat menggunakan teknik manufaktur yang sama dengan yang digunakan untuk pembuatan sel silikon monokristalin meskipun perlu dilakukan pengamatan ulang. Pada tingkat produksi industri, batas efisiensi sel jenis ini sekitar 17%.



Gambar 2.4 *Polycrystalline silicon cell*.
(sumber : Solar hydrogen production,2019)

Kelebihan Panel Surya *Polycrystalline*:

- a. Panel surya polycrystalline merupakan jenis panel surya dengan harga yang lebih murah bila dibandingkan dengan jenis monocrystalline. Hal ini dikarenakan proses pembuatan panel surya polycrystalline lebih sederhana sehingga harga jualnya juga lebih murah.
- b. Biaya investasi pembuatan pembangkit listrik tenaga surya lebih rendah bila dibandingkan penggunaan panel surya monocrystalline.
- c. Mempunyai nilai estetika yang lebih baik dengan warna biru cerah.

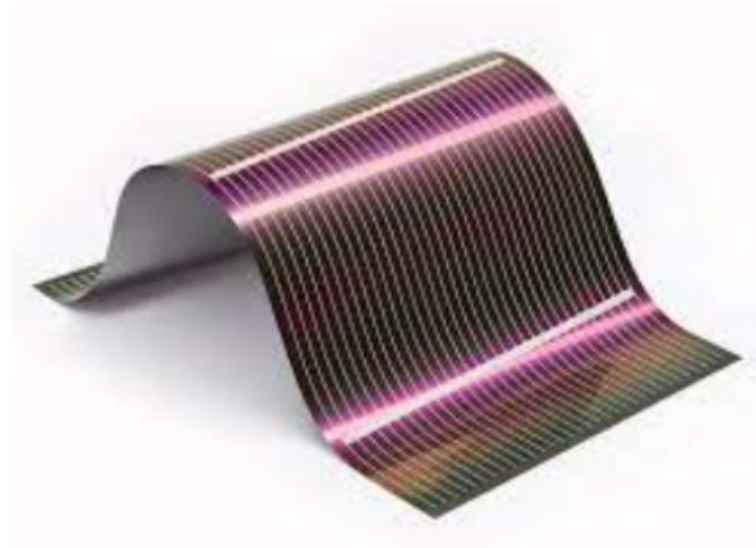
Kekurangan Panel Surya *Polycrystalline*

- a. Panel surya polycrystalline memiliki nilai efisiensi 13% hingga 16% dalam merubah sinar matahari menjadi listrik. Ini lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis monocrystalline.
- b. Panel surya polycrystalline memerlukan ruang yang lebih besar dalam instalasi atau penempatannya bila dibandingkan dengan jenis monocrystalline.
- c. Kinerja dapat menurun pada saat terjadi cuaca panas yang ekstrim dengan penurunan lebih banyak bila dibandingkan dengan jenis monocrystalline. (Wibowo, S. 2020)

2.3 Thin Film

Thin-Film cell adalah panel surya dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5 % sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristalin dan polikristalin. Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa

4 lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Sel surya Thin Film merupakan sel generasi kedua yang sangat ringan dan fleksibel yang terdiri dari beberapa lapisan tipis bahan fotovoltaik. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).



Gambar 2.5 Thin Film Solar Cells
(Sumber: Google Images)

Bahan silikon Thin Film biasanya disimpan dengan proses deposisi uap kimia (CVD). Dalam deposisi uap kimia, gas prekursor yang berbeda dibawa ke dalam ruang reaksi. Karena reaksi kimia, lapisan terbentuk pada substrat. Bergantung pada prekursor yang digunakan dan parameter pengendapan lainnya seperti laju aliran gas, tekanan, dan suhu, berbagai paduan yang berbeda dengan parameter listrik dan optik yang berbeda dapat disimpan. Lapisan sel surya Thin Film sekitar 300 hingga 350 kali lebih tipis dari silikon standar, yang menjadikan teknologi ini ideal untuk perangkat portabel. Setiap sel terbuat dari tiga bagian utama: bahan fotovoltaik, lembaran konduktif, dan lapisan pelindung.

Bentuk desain yang ramping, sel surya Thin Film juga berbeda dari panel jenis monokristalin dan polikristalin dalam bahan yang digunakan dalam produksi dan efisiensi. Sel surya Thin Film lebih murah daripada panel silikon monocrystalline dan polycrystalline. Kedua jenis tersebut kurang efisien dan memiliki kapasitas daya yang lebih rendah. Efisiensi telah menjadi tantangan terbesar panel ini dan bervariasi antara jenis sel surya Thin Film, tetapi telah meningkat seiring waktu.

Pada tahun 2015, Solar Frontier, penyedia energi surya copper indium selenium (CIS) terbesar di dunia, mencapai efisiensi konversi sebesar 22,3%. Hal ini adalah peningkatan 0,6% dari rekor industri sebelumnya, tetapi sebagian besar substrat surya Thin Film berkisar dari efisiensi 6% hingga 18%. Meskipun ini tidak tersedia untuk konsumen, berita surya terbaru menjelaskan bahwa para peneliti dari Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems mampu mencapai rekor 68,9% efisiensi panel gallium arsenide (GaAs) di bawah sinar laser.

Jenis - Jenis Thin Film Solar Cells

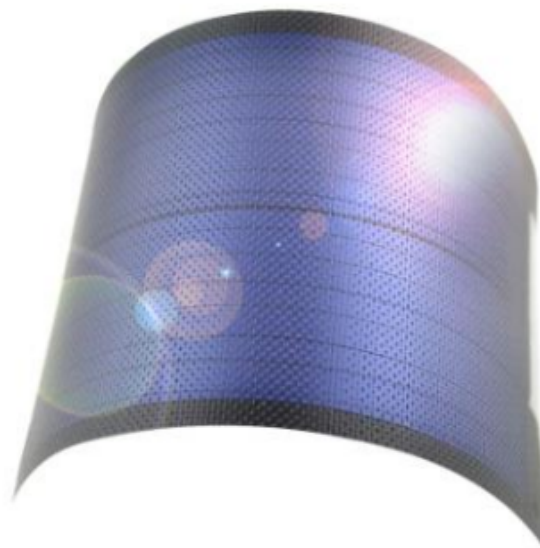
Ada beberapa jenis sel surya Thin Film yang masing-masing terbuat dari bahan yang berbeda dan mempengaruhi keseluruhan biaya dan efisiensi panel. Namun, semua sel surya Thin Film mengandung bahan fotovoltaiik, lembaran konduktif, dan lapisan pelindung. Jenis-jenis Thin Film yang paling umum:

1. Amorphous Silicon (a-Si)

Sel surya dengan bahan amorf (a-Si) adalah teknologi Thin Film tertua, menjadikannya jenis teknologi PV Thin Film

yang paling berkembang dengan baik. Panel tidak beracun ini menggunakan pengendapan uap kimia untuk menempatkan lapisan silikon tipis ke dasar kaca, plastik, atau logam. Awalnya sel surya jenis ini banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya, penerapannya menjadi semakin luas.

Teknik produksi disebut *stacking* atau susun lapis dimana beberapa lapis Amorphous Silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik 6%-8%. Panel jenis ini juga menyerap berbagai spektrum cahaya dan bekerja dengan baik dalam cahaya redup dan bisa ditekuk, membuatnya tidak mudah retak. Kelemahan dari panel amorf adalah kehilangan efisiensi dengan cepat.



Gambar 2.6 Panel Surya Thin Film Amorphous
(Sumber: Google Images)

Panel amorf mempunyai tampilan yang menarik di masa depan teknologi surya Thin Film, tetapi karena efisiensinya yang rendah, panel tersebut tidak efektif untuk rumah pada

umumnya. Saat ini, panel ini hanya menghasilkan sepertiga dari energi panel surya standar. Teknologi ini dapat ditemukan digunakan dalam kalkulator, lampu luar ruangan, dan gadget kecil.

Kelebihan panel surya Thin Film Amorphous :

- a. Ringan
- b. Biaya rendah
- c. Tersedia panel fleksibel dan ber perekat
- d. Suhu tinggi hanya berdampak kecil pada produktivitas

Kelemahan panel surya Thin Film Amorphous :

- a. Kehilangan efisiensi dengan cepat, menjadikannya tidak cocok untuk rumah rata-rata
- b. Suhu tinggi hanya berdampak kecil pada produktivitas

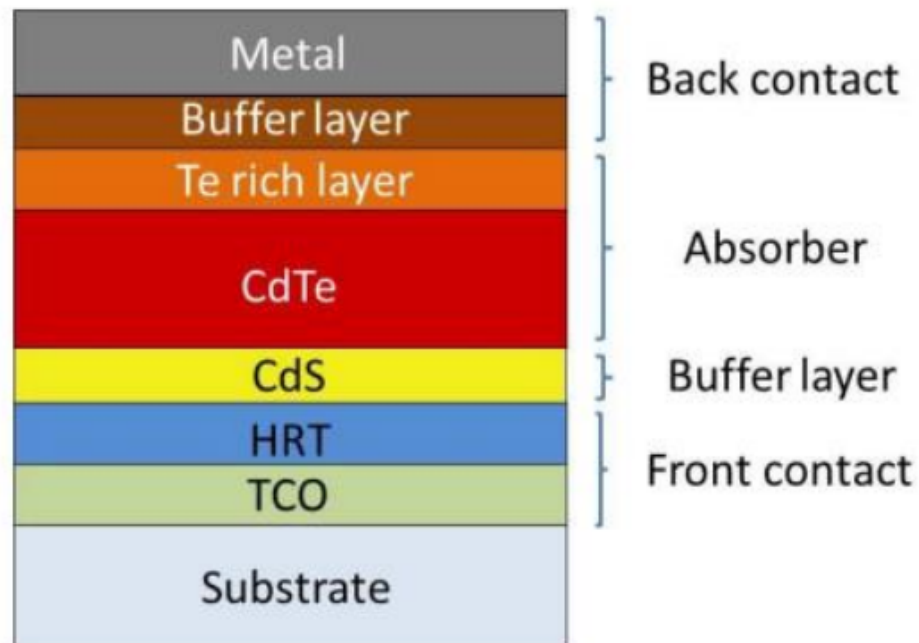
2. Panel Surya Cadmium Telluride (CdTe).

Sel surya CdTe diperkenalkan untuk pertama kalinya pada tahun 1972, oleh Bonnet dan Rabenhorst, dengan heterojunction CdS/CdTe mendapatkan efisiensi 6%. Sejak saat itu, sel surya Thin Film berbasis CdTe telah difabrikasi dengan tipe heterojunction. Struktur heterojunction p-n yang mengandung lapisan CdTe yang didoping p, yang cocok dengan lapisan kadmium sulfida (CdS) atau magnesium seng oksida (MZO) yang didoping n.

Teknik deposisi Thin Film CdTe yang umum termasuk deposisi transportasi uap dan sublimasi jarak dekat. Lapisan penyerap CdTe umumnya ditanam di atas lapisan oksida konduktif transparan (TCO) berkualitas tinggi biasanya oksida timah yang didoping fluor ($\text{SnO}_2\text{:F}$). Sel diselesaikan menggunakan kontak listrik belakang biasanya lapisan zinc telluride (ZnTe) diikuti oleh lapisan

logam atau pasta karbon yang juga memasukkan tembaga (Cu) ke bagian belakang sel.

Panel surya kadmium telluride (CdTe) adalah jenis modul Thin Film yang paling umum tersedia. Panel ini sebenarnya adalah jenis kedua yang paling banyak digunakan di dunia, setelah silicon crystal (c-Si). Seperti namanya, sel-sel ini dibuat dengan telluride kadmium, senyawa kimia yang efektif dalam menangkap dan mengubah sinar matahari menjadi energi. Panel CdTe lebih murah daripada sel Thin Film silikon standar dan memiliki waktu pengembalian tercepat dari panel Thin Film lainnya yang ada di pasaran saat ini. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi 9%-11%.



Gambar 2.7 Struktur Standar Thin Film CdTe
(Sumber: Google Images)

Panel telluride kadmium memiliki jejak karbon terkecil dari semua panel Thin Film yang tersedia untuk konsumen.

Sayangnya, masalah besar dengan panel surya ini adalah mengandung kadmium dalam jumlah besar, yang merupakan unsur beracun. Tindakan pencegahan khusus perlu diambil untuk menangani komponen itu. Panel tidak berbahaya bagi manusia atau lingkungan selama proses pembuatan atau saat digunakan untuk menghasilkan listrik di atap rumah. Namun, pada pembuangan panel lama tetap perlu perhatian. Telluride juga sangat jarang ditemukan, sehingga sulit untuk memproduksi teknologi ini secara massal.

Kelebihan panel surya Thin Film CdTe:

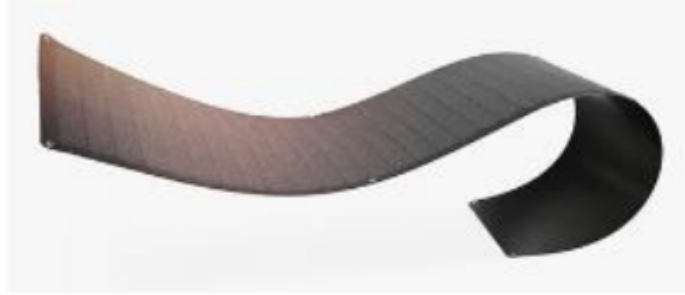
- a. Lapisan penyerap sangat bagus dalam mengubah energi
- b. Lebih murah dan waktu pengembalian tercepat dibandingkan dengan sel standar + Jejak karbon terkecil

Kelemahan panel surya Thin Film CdTe:

- a. Kadmium elemen beracun dalam jumlah besar
- b. Telluride adalah elemen yang sulit ditemukan, yang merupakan komponen kunci dalam manufaktur

3. Panel Surya Copper Indium Gallium Selenide (CIGS).

Panel surya tipe Thin Film CIGS merupakan sistem Thin Film yang paling efisien saat ini untuk aplikasi fotovoltaik. Tantangan utama sel CIGS secara komersial terkait dengan biayanya yang tinggi dan tingkat deposisi rendah yang dicapai dalam teknik deposisi uap fisik yang biasanya digunakan untuk membuatnya. Panel surya CIGS dibuat dengan menempatkan lapisan tembaga, indium, gallium, dan diselenide di atas satu sama lain dalam lapisan konduktif untuk membuat semikonduktor yang kuat.



Gambar 2.8 Panel Surya Thin Film CIGS
(Sumber: Google Images)

Thin Film CIGS adalah teknologi yang sangat efisien dengan beberapa efisiensi melebihi 20% dalam pengujian laboratorium. Sayangnya, banyak panel CIGS juga menggunakan kadmium – bahan kimia beracun yang ditemukan di panel kadmium telluride (CdTe). Beberapa sel CIGS saat ini telah menukar bahan kimia tersebut dengan oksida seng yang lebih ramah lingkungan. Secara keseluruhan, kerugian terbesar ditemukan pada label harga. Panel CIGS masih sangat mahal untuk diproduksi, sehingga sulit bersaing dengan panel surya CdTe atau silikon.

Perbedaan besar pada sel surya CIGS adalah lebih peka cahaya dan oleh karena itu panel CIGS 100 Watt akan menghasilkan daya sekitar 10-15% lebih banyak dalam setahun, dibandingkan panel kristal 100 Watt tipe lain. Panel Surya CIGS akan memproduksi lebih awal di pagi hari dan bertahan lebih lama di malam hari.

Dengan koefisien suhu yang lebih rendah dan fitur kinerja cahaya rendah yang lebih tinggi, sel surya CIGS menghasilkan lebih banyak listrik selama puncak sinar matahari tengah hari dan juga pada waktu senja dan fajar yang rendah cahaya, peningkatan lain dibandingkan sel

surya kristal. Hal ini meningkatkan efisiensi biaya pengoperasian dengan sel surya Sunflare CIGS, memungkinkannya menghasilkan energi 10 persen lebih banyak.

Kelebihan panel surya Thin Film CIGS

- a. Panel tipis yang sangat efisien sekitar 10%-12%
- b. Beberapa panel menggunakan seng sebagai pengganti kadmium

Kelemahan panel surya Thin Film CIGS

- a. Sangat mahal untuk diproduksi
- b. Sebagian besar mengandung kadmium kimia beracun

2.4 Panel Surya Fotovoltaik Organik (OPV).

Sel Fotovoltaik Organik atau Organic Photovoltaic Cell (OPV) ³ adalah sel fotovoltaik yang menggunakan material organik sebagai penyusunnya. Proses penyerapan cahaya dan pengiriman muatan dilakukan oleh material organik. Material polimer organik konduktif atau molekul organik kecil untuk menghasilkan listrik. Dalam sel fotovoltaik ini, beberapa lapisan uap atau larutan organik tipis ditempatkan di antara dua elektroda untuk mengalirkan arus listrik.

Dengan adanya bahan organik yang digunakan berlimpah, yang memberi teknologi label harga yang lebih rendah dari biaya pembuatan hingga biaya pasar. Karena variabilitas dalam penyerap, panel OPV dapat memiliki berbagai warna - termasuk transparan - yang menjadikannya modul surya pilihan untuk kebutuhan estetika apa pun.

Namun, ³ kelemahan dari sel surya OPV adalah dalam sisi efisiensi. Efisiensi yang diperoleh dari sel tunggal dye-

sensitized sebesar 11% dan sel tunggal polimer sebesar 8%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi yang diperoleh dari sel surya organik secara umum sangat rendah. Fotovoltaik organik secara teknologi belum matang dan aplikasinya yang cukup luas dibatasi adanya masalah ketidakstabilan yang berkaitan dengan terjadinya penurunan kualitas pada lingkungan yang berbeda.

Dengan demikian teknologi OPV dan dye-sensitized belum mampu untuk menjadikan sel surya tersebut memiliki daya saing di pasar komersial. Akibat dari masalah tersebut, para peneliti dalam bidang fotovoltaik melahirkan sel surya tipe baru yaitu sel surya hibrid organik-anorganik dikenal dengan nama perovskite yang ditemukan oleh Miyasaka dan kawan-kawan pada tahun 2006. Material baru ini dilaporkan memiliki efisiensi tertinggi sebesar 19,3%. Teknologi sel surya hibrida seperti sel surya perovskite disebut demikian karena lapisan fotoaktif terbuat dari material organometalik.



Gambar 2.9 Panel Surya OPV
(Sumber: Google Images)

Kelebihan panel surya Thin Film OPV

- a. Bahan organik yang digunakan dalam produksi
- b. Biaya pembuatan lebih murah
- c. Memiliki Estetika
- d. Ringan dan lentur

Kelemahan panel surya Thin Film OPV

- a. Umur singkat atau lebih pendek. Umur operasional 5 tahun
- b. Efisiensi rendah sekitar 8,3%

3 Macam-macam panel surya organik :

1. Dye-sensitized solar cell (DSSC)

Pada DSSC pewarna organik diterapkan di atas permukaan semikonduktor anorganik dengan energi gap cukup besar sebagai penyerap cahaya dan untuk mendorong elektron yang tereksitasi menuju pita konduksi semikonduktor tersebut.

Penelitian pada DSSC memperoleh kemajuan besar ketika Grätzel dan rekan kerjanya meningkatkan daerah persambungan antara donor organik dan akseptor inorganik menggunakan nanoporous titanium dioxide (TiO₂). Menggunakan ruthenium dye-sensitized nanocrystalline TiO₂ (nc-TiO₂) efisiensi konversi energi sel surya mencapai 10% di bawah paparan sinar matahari.

3 2. Double Layer Cell

Awal usaha untuk membuat sel surya dari unsur organik semua adalah dengan menyisipkan lapisan tunggal material organik di antara dua elektroda berbeda. Sifat fotovoltaiik sel ini sangat tergantung pada sifat alam elektrode. Material yang ikatannya di dope dalam jumlah

besar menghasilkan efisiensi konversi daya sampai dengan 0,3%.

Pada tahun 1986 Tang melakukan terobosan dengan merealisasikan struktur lapisan ganda menggunakan semikonduktor organik tipe-p dan tipe-n. Dua lapis setebal 70 nm dibuat menggunakan copper phthalocyanine sebagai donor elektron, dan turunan perylene tetracarboxylic sebagai akseptor elektron.

Material peka cahaya diletakkan di antara dua elektrode berbeda, yaitu indium tin oxide (ITO) sebagai pengumpul muatan positif dan perak (Ag) untuk mengumpulkan muatan negatif. Efisiensi konversi power sekitar 1%. Hal terpenting pada konsep ini adalah efisiensi pembangkitan muatan tidak dipengaruhi besarnya tegangan bias.

3. Bulk Heterojunction Cell

Pada proses penggabungan material penyumbang elektron (tipe-p) dan material penerima elektron (tipe-n) pada lapisan aktif sel surya harus diperhatikan agar exciton yang terbentuk pada salah satu material dapat menyebar menuju persambungan memungkinkan terjadi pemisahan muatan.

Oleh karena exciton umurnya singkat dan mobilitasnya rendah maka jangkauan sebaran exciton pada semikonduktor organik terbatas hanya sekitar ~10 nm. Ini akan sangat berpengaruh pada penurunan tingkat pembangkitan muatan. Dimanapun pada lapisan aktif jarak ke persambungan harus dapat dijangkau oleh sebaran exciton.

3

4. Perovskite Solar Cell (PSC)

PSC termasuk sel surya fotovoltaik generasi ketiga. Sistem penyerapan cahaya oleh organometallic halide membuat efisiensi konversi daya lebih tinggi ditambah dengan material lebih murah. PSC dilaporkan memiliki efisiensi 26% dengan keunggulan biaya produksi rendah dan karakteristiknya sangat stabil.

BAB 3

KOMPONEN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

3.1 Modul Surya

Modul surya adalah suatu kesatuan rangkaian yang terdiri dari sel-sel surya yang dihubungkan secara seri, paralel atau kombinasi dari seri dan paralel. Modul surya merupakan komponen utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Komponen ini berperan menerima energi radiasi matahari dan mengkonversinya menjadi listrik. Sistem pembangkitan energi listrik menggunakan sel surya menjadi sangat menarik karena tidak adanya bagian yang bergerak.

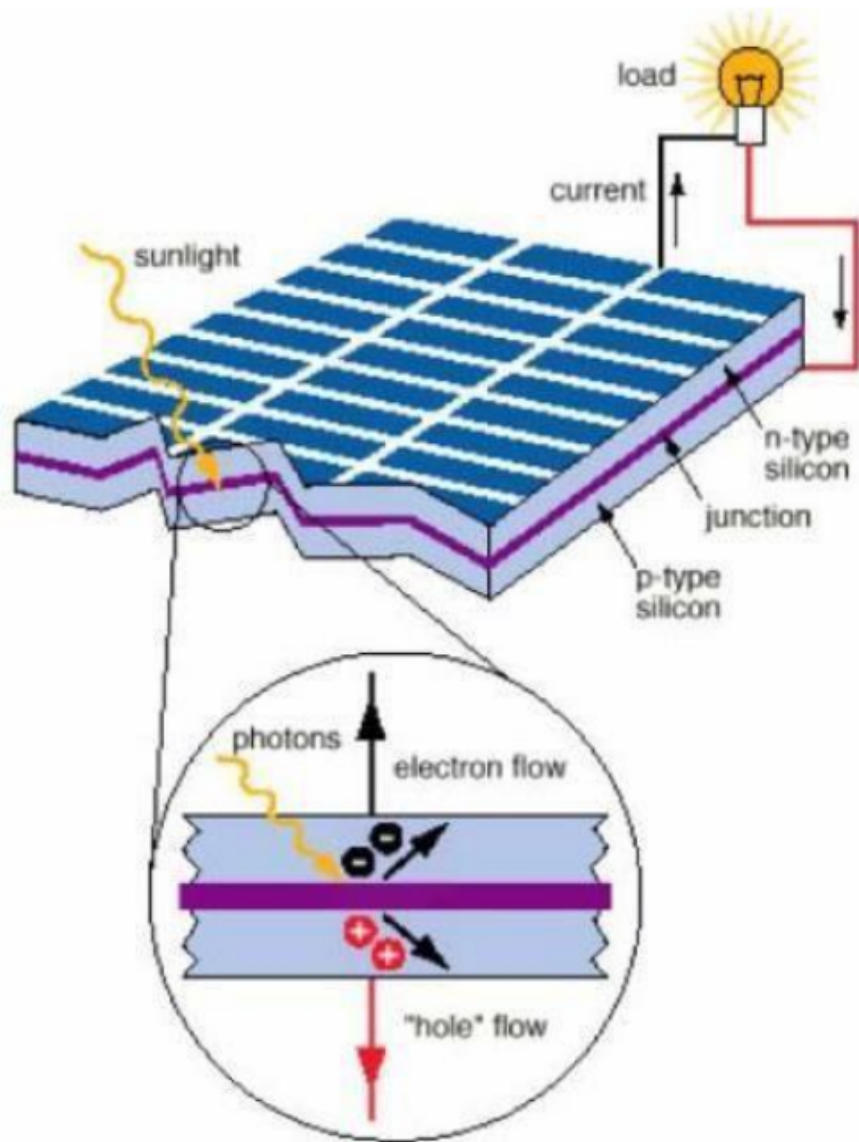
Cahaya matahari terdiri dari partikel yang disebut foton. Foton memiliki sejumlah energi yang besarnya bergantung pada panjang gelombangnya. Ketika foton mengenai sel surya, sebagian cahaya akan dipantulkan, diserap dan/atau

dipantulkan. Cahaya yang diserap dapat membangkitkan listrik.

Suatu bahan semikonduktor n yang memiliki 1 elektron akan bebas bergerak ketika mendapatkan energi yang cukup. Ketika terkena cahaya, elektron mendapat energi foton dan bebas bergerak namun gerakannya acak dan tidak menghasilkan arus apabila dihubungkan dengan beban. Untuk membuat aliran elektron searah, dibutuhkan *junction*.

Apabila suatu bahan semikonduktor p silikon murni memiliki lubang untuk setiap atom (*doping p*) yang disebabkan oleh pelepasan elektron dari ikatan normal semikonduktor. Jika semikonduktor p dan n bergabung, beberapa elektron dari sisi n akan bergabung dengan sisi p dan mengisi *hole*. Sehingga terbentuklah daerah deplesi yang merupakan *junction* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.

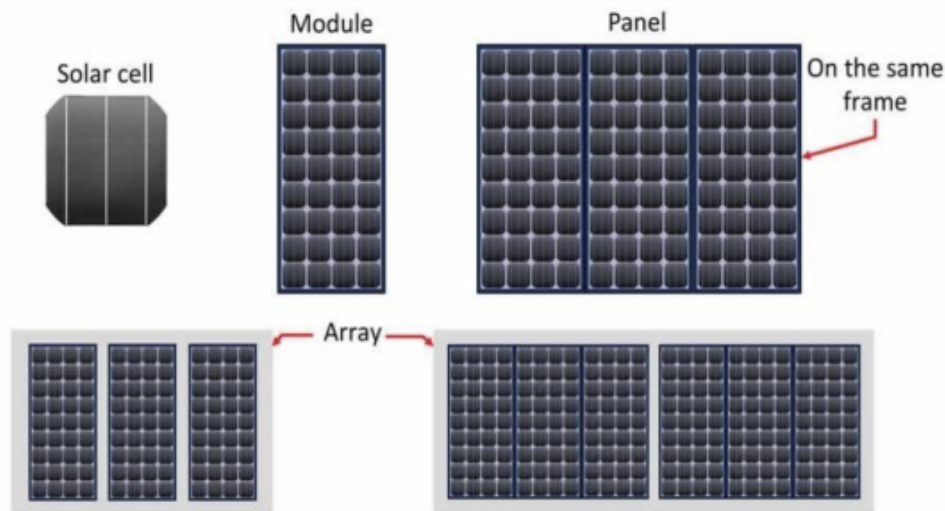
Ketika kedua bahan semikonduktor yang mendapat energi foton cukup dihubungkan dengan beban, maka elektron akan terus bergabung menuju *hole* dan menciptakan arus listrik yang terus menerus mengalir dalam rangkaian.



Gambar 3.1 Gambar Ilustrasi Proses Terjadinya Arus Listrik pada modul PV

(Sumber: Pemasangan dan Pemeliharaan PLTS, 2015)

Istilah sel surya, modul surya, panel surya, dan rangkaian atau *rangkaian* seringkali disebutkan dalam studi mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Perbedaan yang jelas dari istilah-istilah tersebut dapat dilihat dari Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gambar Ilustrasi Perbedaan Antara Sel Surya, Modul Surya, Panel Surya, dan rangkaian.

(sumber: pasangpanelsurya.com)

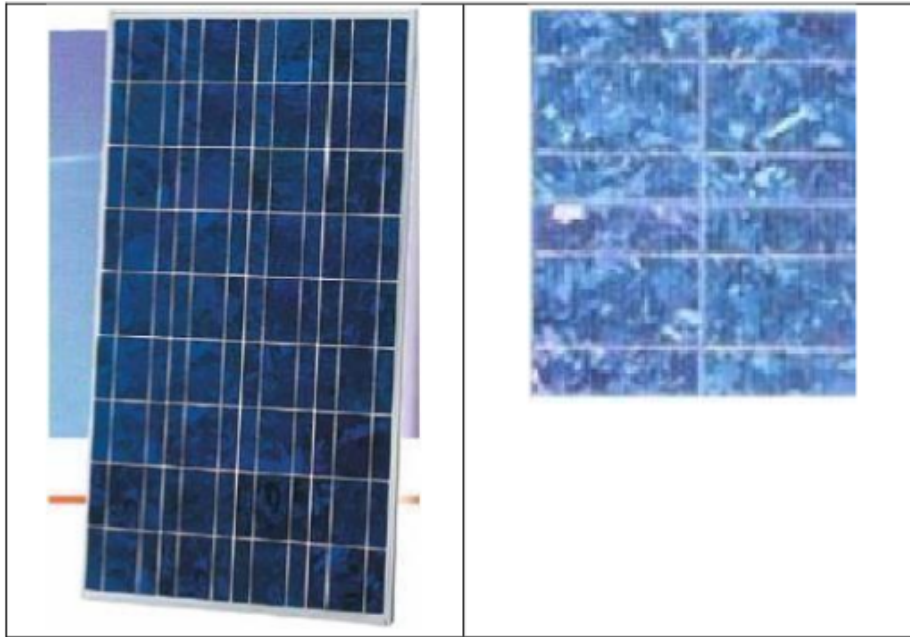
Sel surya merupakan bahan semikonduktor yang menjadi tempat terjadinya proses konversi radiasi matahari ke listrik secara langsung tanpa ada bagian yang bergerak. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya berbasis silikon umumnya sekitar 0,5 volt (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015).

Modul surya adalah rangkaian sel surya yang saling terhubung. Untuk melindungi dan menjaga keawetannya, modul surya dilapisi dengan bahan yang tahan cuaca dan radiasi UV (ultraviolet).

Panel surya merupakan rangkaian beberapa modul surya yang disusun dalam satu bingkai. Sedangkan *PV rangkaian* merupakan kumpulan beberapa panel surya yang terhubung dengan kabel pada suatu jaringan listrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.

Panel surya yang banyak digunakan saat ini ada berbagai jenis berdasarkan bahan pembuatnya, seperti jenis polikristalin, monokristalin, dan *thin film*.

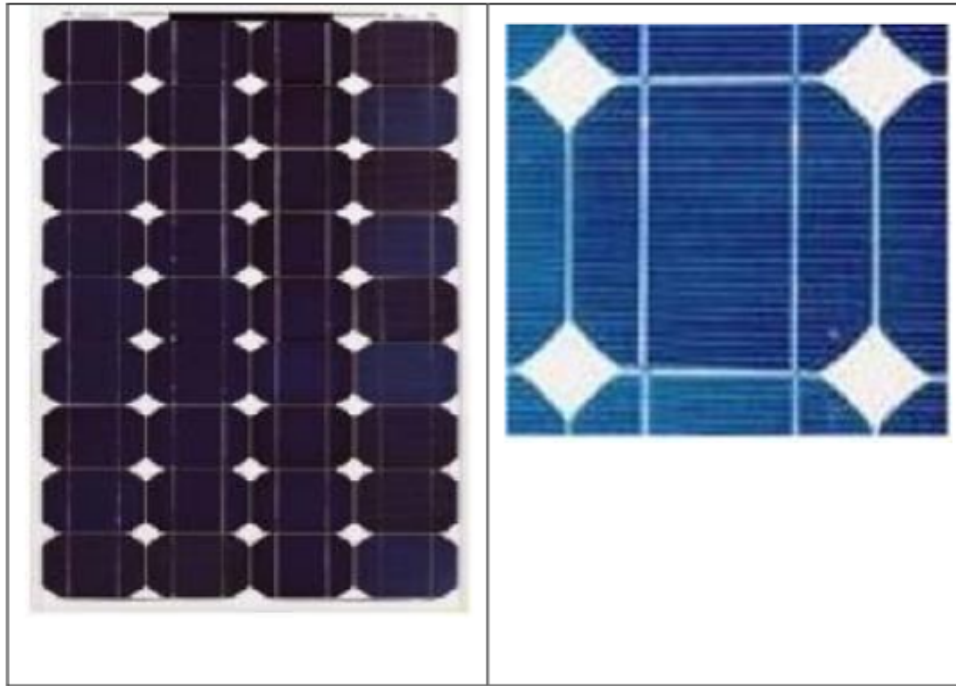
1) Modul Surya Polikristalin



Gambar 3.4. Gambar Modul Surya Jenis Polikristalin

Modul surya jenis polikristalin terbuat dari beberapa batang kristal silicon yang dicairkan, setelah itu dituang dalam cetakan berbentuk persegi. Dibandingkan modul surya jenis monokristalin, modul surya jenis polikristalin memiliki efisiensi lebih rendah yaitu sekitar 11 – 16 % (Prasetyo, 2020). Modul surya polikristalin disusun lebih rapat, sehingga mengurangi luas ruang yang kosong antar sel surya. Dalam aplikasinya, modul surya jenis ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan jenis monokristalin untuk menghasilkan daya yang sama karena efisiensinya yang rendah.

2) Modul Surya Monokristalin



Gambar 3.5. Gambar Modul Surya Jenis Monokristalin

Modul surya monokristal dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu mencapai 99,99%. Efisiensi sel fotovoltaik jenis silikon monokristal cukup tinggi dibandingkan jenis lain yaitu sekitar 16 – 17%. Namun, modul surya jenis ini umumnya memiliki harga yang lebih tinggi daripada modul surya jenis polikristalin.

3) Modul Surya Amorfous

Modul surya amorfous merupakan teknologi fotovoltaik lapisan tipis atau *thin film*. Ketebalannya sekitar 10 μm (Prasetyo, 2020). Efisiensi sel dengan silikon amorfous hanya berkisar 6 – 9%. Karena kerapatannya yang rendah, modul surya jenis ini mudah dibentuk dan menyesuaikan permukaan yang dikehendaki. Namun modul surya jenis ini memiliki umur pakai yang pendek dibandingkan jenis

lainnya karena lebih tidak tahan terhadap berbagai kondisi dan cuaca karena bentuknya yang tipis dan tidak memiliki bingkai.



Gambar 3.6 Gambar Modul Surya Jenis *Thin Film*

Nilai efisiensi suatu panel surya dapat digunakan sebagai salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan panel surya yang akan digunakan. Semakin tinggi nilai efisiensi suatu panel surya, maka semakin baik kemampuannya untuk mengkonversi energi radiasi matahari menjadi listrik.

Selain itu modul surya yang digunakan harus memenuhi kualitas sesuai IEC 61215 untuk modul monokristalin dan polikristalin; dan IEC 61646 untuk modul *thin film*. Sebaiknya, modul yang digunakan memiliki efisiensi yang lebih besar dari 15 % dan toleransi daya kurang dari 2,5 % di bawah kondisi uji standar. Modul juga harus mampu beroperasi pada tegangan hingga 1000 VDC (Maheswari, 2022).

Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja modul surya adalah sebagai berikut:

a) Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari merupakan intensitas dari suatu radiasi elektromagnetik matahari yang jatuh pada permukaan modul surya. Radiasi bisa diukur dalam satuan W/m^2 dan besar nilainya bervariasi tiap lokasinya. Intensitas matahari terbukti berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh modul surya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Suwarti dan Prasetyo (2018), semakin besar intensitas radiasi matahari maka arus yang dihasilkan akan semakin besar dan tegangannya cenderung tetap. Hal inilah yang akhirnya menghasilkan daya keluaran yang besar pula.

b) Sudut kemiringan modul surya

Modul surya yang terpasang dalam satu *rangkaian* seri maupun parallel diposisikan pada kemiringan tertentu untuk mendapatkan paparan terbaik dari sinar matahari untuk memaksimalkan radiasi yang diterima. Sudut terbaik untuk memaksimalkan radiasi yang diterima adalah sudut yang tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari. Semakin mendekati tegak lurus terhadap datangnya cahaya matahari, maka nilai tegangan dan arus akan meningkat pula. Sehingga, daya yang dihasilkan juga akan semakin besar (Suwarti dan Prasetyo, 2018).

c) Bayangan benda

Bayangan benda atau kemungkinan terdapatnya *shading* pada permukaan modul surya perlu diperhatikan.

Bayangan yang mengenai permukaan modul surya akan menghalangi cahaya matahari yang seharusnya mengenai modul surya.

d) Temperatur

Daya yang dihasilkan oleh modul surya tidak hanya tergantung kepada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperatur pada modul surya itu sendiri. Kenaikan temperatur pada modul surya tidak hanya disebabkan oleh temperatur lingkungan sekitar, namun juga sifat bahan semikonduktor yang digunakan mampu menyerap energi cahaya sekaligus panas dari radiasi matahari (Khwee, 2013). Kenaikan suhu mengakibatkan tegangan, daya, dan efisiensi modul surya turun. Sedangkan ketika suhu pada panel surya menurun, akan meningkatkan nilai tegangan daya dan efisiensi listrik pada panel surya (Tiyas dan Widyartono, 2020)

3.2. Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SCC) merupakan perangkat pada sistem PLTS yang berfungsi mengatur arus searah yang berasal dari modul surya untuk mengisi baterai, dan baterai menuju beban. SCC berfungsi memutus arus listrik yang masuk ke baterai ketika baterai sudah penuh untuk mencegah *overcharging*. Ketika energi baterai sudah hampir habis, maka SCC akan menghentikan penarikan arus dari baterai oleh beban pada kondisi tertentu.

Penghentian penarikan atau pemutusan arus bertujuan untuk menjaga agar tidak terjadi kerusakan pada sel-sel

baterai. SCC juga dapat mengontrol suhu pada baterai agar tidak terjadi *overheating*. SCC sangat dibutuhkan untuk menjaga umur baterai.

Memilih tipe dan desain dari SCC harus disesuaikan dengan kebutuhan demi menjaga efisiensi PLTS dan umur baterai. Spesifikasi SCC dibedakan berdasarkan konfigurasi modul surya, sistem tegangan yang digunakan, dan karakteristik baterai. Jenis-jenis *controller* yang umum digunakan pada PLTS di Indonesia memiliki dua tipe, yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

a. PWM (*Pulse Width Modulation*)



Gambar 3.7. Gambar *Solar Charge Controller* Jenis PWM
(sumber: *westech-pv.com*)

SCC tipe ini merupakan alat pengontrol pengisian pada baterai menggunakan modulasi pulsa untuk mengendalikan ketika pengisian dan pemakaian baterai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Ketika baterai sudah penuh, *controller* jenis ini menurunkan tegangan secara perlahan. Karena biayanya yang relatif murah, *controller* ini banyak ditemukan di pasaran. Namun PWM hanya mampu

menyesuaikan tegangan dari baterai, apabila tegangan dari panel lebih rendah dari tegangan baterai maka secara otomatis tidak terjadi proses pengecasan baterai. PWM memiliki kapasitas yang relatif kecil, sehingga cocok untuk sistem PLTS berkapasitas yang tidak terlalu besar seperti SHS (*Solar Home System*).

b. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)



Gambar 3.8 Gambar *Solar Charge Controller* Jenis MPPT
(sumber: *epever.com*)

SCC tipe MPPT seperti pada Gambar 3.8 merupakan controller yang lebih efisien daripada SCC PWM. *Controller* jenis ini mampu memaksimalkan faktor tegangan ketika pengecasan baterai meskipun cuaca sedang tidak mendukung. Tegangan yang keluar dari panel surya dimaksimalkan dan dikonversikan menjadi arus untuk mengisi baterai. Karena pada suatu modul surya yang berkapasitas

100Wp dapat memiliki tegangan 20 volt yang stabil, namun nilai arusnya berubah- ubah. *Controller* ini berperan memaksimalkan tegangan yang ada untuk dikonversikan. MPPT baik digunakan dalam segala kondisi seperti ketika tegangan *drop* dibawah tegangan baterai, mppt dapat menstabilkan sistem panel surya sehingga masih dapat digunakan. MPPT cocok digunakan untuk investasi jangka panjang karena harganya yang mahal.

3.3. Inverter



Gambar 3.9 Gambar Inverter PLTS
(*sumber: suminitrosdelsol.com*)

Inverter pada PLTS merupakan komponen penting yang digunakan untuk mengkonversikan arus dari DC menjadi AC seperti pada Gambar 3.9. Inverter yang digunakan pada PLTS ada dua, yaitu inverter jaringan yang biasa disebut Inverter grid dan inverter baterai. Secara umum inverter jaringan dan

inverter baterai tidak bisa dibedakan secara fisik, namun biasanya tertera pada jenis dan spesifikasi yang ada pada inverter tersebut.

a. Inverter Jaringan

Inverter jaringan atau yang biasa disebut sebagai inverter grid merupakan komponen elektronika yang mengkonversi tegangan DC menjadi AC pada PLTS, baik untuk digunakan langsung maupun menyimpan kelebihan daya ke dalam baterai. Biasanya, *string inverter* ini terkoneksi oleh suatu sistem pembangkit lain seperti listrik dari genset, atau *bidirectional inverter*. *String inverter* juga dilengkapi fitur MPPT agar daya keluaran PLTS selalu pada kondisi maksimal mengikuti intensitas radiasi matahari.

b. Inverter Baterai

Inverter baterai merupakan suatu komponen yang dapat digunakan untuk mengubah tegangan *input* DC dari baterai menjadi *output* AC ketika proses *discharge*, dan untuk mengubah tegangan *input* AC dari grid menjadi tegangan output DC pada saat proses charging atau pengecasan. Inverter baterai pada sistem ini juga disebut sebagai *bidirectional inverter* karena sifatnya yang dua arah. output DC pada saat proses charging atau pengecasan. Inverter baterai pada sistem ini juga disebut sebagai *bidirectional inverter* karena sifatnya yang dua arah.

3.4. Baterai

Baterai merupakan perangkat yang digunakan untuk menyimpan suatu energi, yang dalam sistem ini energi berasal dari modul surya. Baterai menjadi komponen penting PLTS dengan sistem *off-grid* atau kombinasi. Baterai dan berbagai parameternya seperti perawatan, masa pakai daya, dan efisiensi berpengaruh kepada kinerja PLTS.

Desain yang kurang baik dan spesifikasi baterai yang tidak sesuai dapat mengganggu operasional PLTS. Baterai memiliki keterbatasan umur pakai yang tergantung pada perawatan dan penggunaannya. Baterai berfungsi sebagai suplai beban dengan tegangan dan arus stabil yang diperlukan melalui inverter. Baterai berperan sebagai cadangan energi pada suatu kondisi yang tidak memungkinkan untuk menggunakan energi dari grid secara langsung.

Pada baterai dikenal istilah SOC (*State of Charge*) yang merupakan kondisi pengisian pada suatu baterai atau perbandingan antara kapasitas yang tersisa dengan kapasitas nominal yang dinyatakan dalam bentuk persen (%). DOD (*Depth of Discharge*) merupakan jumlah energi yang digunakan pada suatu baterai. Ketika suatu spesifikasi baterai dinyatakan bahwa siklus hidupnya lebih besar dari 1500 dengan besar DOD 80%, artinya siklus hidup akan benar-benar lebih besar dari 1500 apabila penggunaan energi listrik tidak melebihi 80% dari kapasitas baterai.

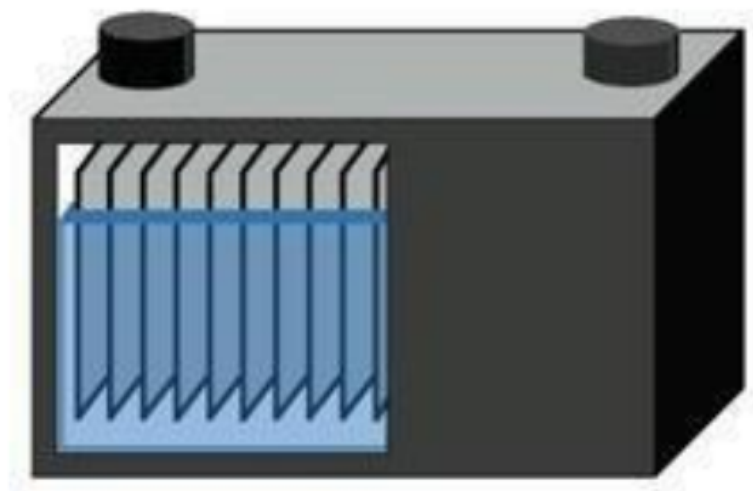
Kapasitas nominal menunjukkan jumlah nilai pengisian yang dapat disimpan di dalam baterai atau yang dapat digunakan dari sel baterai yang terisi penuh berdasarkan

tingkat pemakaian tertentu. Kapasitas nominal biasanya dituliskan dengan satuan Ampere hour (Ah). Beberapa jenis baterai yang dapat ditemukan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sebagai berikut:

1. Baterai *Lead Acid* (asam timbal)

Baterai *lead acid* atau asam timbal merupakan baterai yang menggunakan asam timbal sebagai material kimia penyusunnya. saat ini banyak digunakan sebagai baterai PLTS. Baterai *lead acid* terdiri dari dua tipe menurut penggunaannya, yaitu *starting battery* atau yang lebih dikenal sebagai aki otomotif dan tipe *deep cycle battery* atau yang biasa dikenal sebagai aki industri (Kosasih, 2018).

a. *Starting Battery*



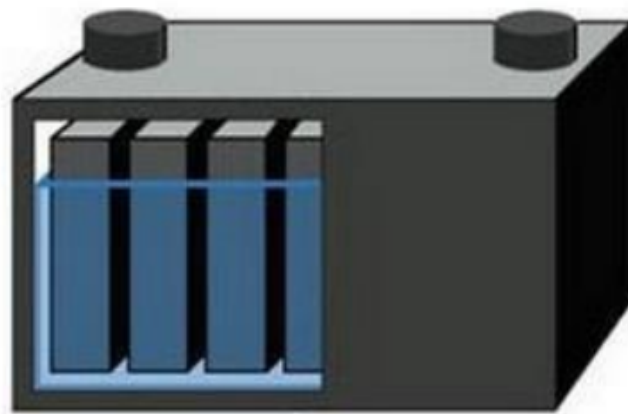
Gambar 3.10. Gambar *Starting Battery*
(sumber: everexceed.com)

Starting battery dirancang mampu menghasilkan energi listrik yang tinggi dalam waktu yang singkat. Umumnya baterai jenis ini digunakan untuk menghidupkan mesin yang membutuhkan arus listrik yang tinggi (Kosasih, 2018).

Setelah mesin berhasil hidup, baterai akan beristirahat sembari dilakukan pengisian kembali oleh *alternator* (dinamo).

Sehingga, tidak pernah benar-benar habis dan selalu terisi penuh. Konstruksi *starting battery* menggunakan banyak pelat tipis yang disusun secara paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 sehingga resistansinya rendah dan memiliki permukaan yang lebih luas dan mampu melepas arus listrik yang tinggi saat dibutuhkan.

b. *Deep Cycle battery*



Gambar 3.11. Gambar *Deep Cycle Battery*
(sumber: everexceed.com)

Deep cycle battery dirancang untuk menghasilkan arus listrik yang stabil dalam waktu yang lama tidak seperti *starting battery*, namun arus yang dihasilkan juga tidak sebesar *starting battery*. Baterai jenis ini tahan terhadap siklus pengisian (*Charger*) dan pengosongan (*Discharger*) yang berulang-ulang. *Deep cycle battery* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11, banyak digunakan pada proyek energi alternatif untuk menyimpan arus listrik seperti pada sistem

PLTS, PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), dan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin).

Penggunaan ideal dari baterai jenis *Deep Cycle Battery* dapat digunakan hingga 80% dari kapasitas nominalnya, sehingga kapasitas yang dapat digunakan sangat cukup besar tanpa merusak dan tetap menjaga dari umur pakai dari baterai. Baterai yang tergolong sebagai jenis *deep cycle battery* adalah baterai FLA dan VRLA.

1) Baterai FLA (*Flooded Lead Acid*)

Baterai *flooded lead acid* (FLA) merupakan baterai yang sering disebut sebagai baterai atau ACCU (aki) basah. Sel-sel yang ada dalam baterai ini harus terendam cairan elektrolit dengan level tertentu (Gefrin, 2021). Ciri-ciri yang dimiliki oleh baterai jenis ini adalah setiap selnya memiliki katup untuk pengisian cairan elektrolit.

2) Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*)

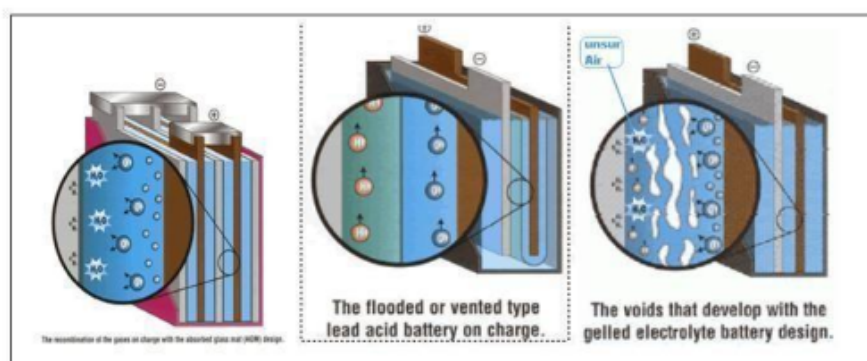
Baterai VRLA (*valve regulated lead acid*) sering disebut sebagai baterai *sealed lead acid* (SLA) atau juga aki kering. Secara fisik, baterai jenis ini tertutup rapat dan hanya terminal positif dan negatif yang nampak dari luar seperti pada Gambar 3.12. Baterai ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka pada tekanan ekstrim untuk membuang gas hasil reaksi kimia di dalamnya. Pada baterai ini tidak terdapat katup untuk mengisi ulang cairan elektrolit. Oleh karena itu, baterai jenis ini dikenal juga sebagai baterai bebas perawatan (*Maintenance Free Battery*). Baterai jenis ini tidak melembung ketika mengalami *overcharging* (Kosasih, 2018).



Gambar 3.12 Gambar Baterai *Deep Cycle VRLA*
(sumber: Kosasih, 2018)

Jenis baterai yang cocok dan paling banyak digunakan untuk modul surya adalah jenis Baterai *Deep Cycle* jenis *VRLA AGM* atau *VRLA Gel*. Alasan pemakaian Baterai *Deep Cycle* jenis *VRLA AGM* atau *VRLA Gel* karena memiliki ketahanan siklus pengisian, ketahanan penggunaan, anti tumpah/bocor, dan bebas perawatan (*Maintenance Free*).

a) *Gel cell*

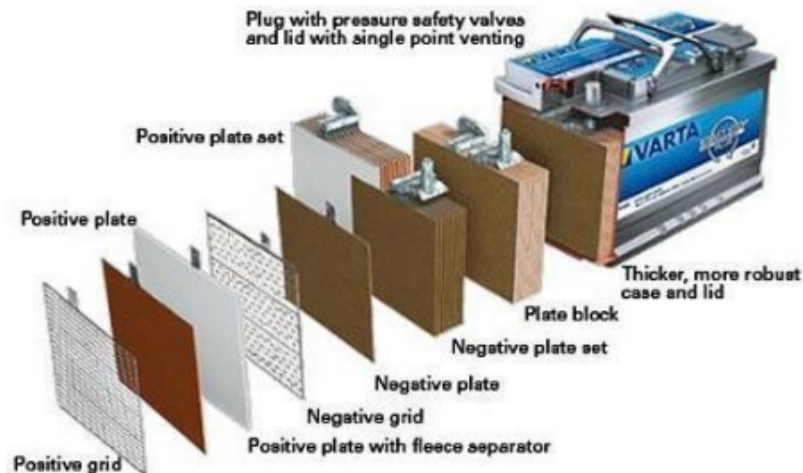


Gambar 3.13 Baterai *VRLA Gel* sumber: kosasih (2018)

Baterai *VRLA Gel* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 memiliki cairan elektrolit kental yang

berbentuk seperti gel atau puding Baterai jenis ini banyak digunakan untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya dikarenakan tipe *Deep Cycle Battery VRLA* atau *Gel Cell* memiliki besar ketahanan penggunaan yang lebih baik dan bebas dari suatu perawatan.

b) AGM (*Absorbent Glass Mat Battery*)



Gambar 3.13 Gambar Baterai AGM (*Absorbent Glass Matt*) (sumber: offgridham.com)

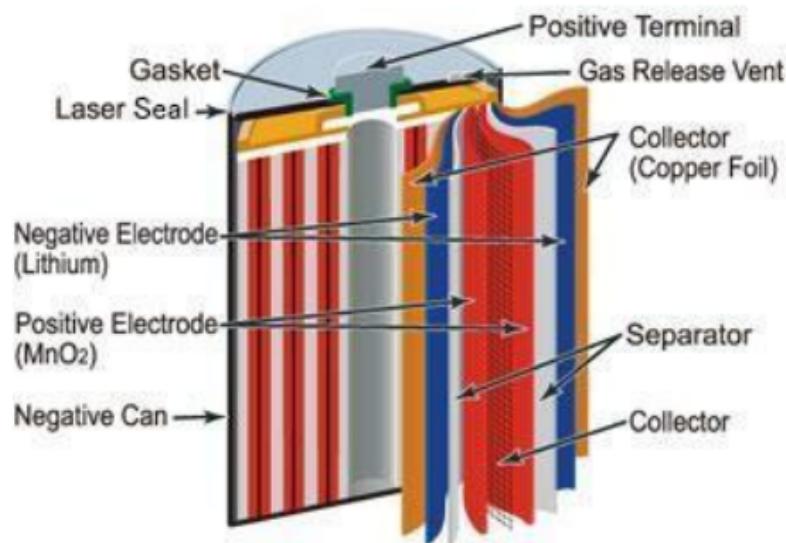
Baterai jenis ini memiliki *separator* yang terdiri dari *fiberglass* yang diletakkan diantara pelat-pelat selnya untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass*. Fungsi *fiberglass* ini mirip seperti handuk yang menyerap air ketika salah satu ujungnya dicelupkan ke air. baterai jenis ini dapat disimpan untuk waktu yang lama tanpa pengisian ulang karena memiliki nilai *self- discharge* yang rendah, yaitu berkisar antara 1 – 3 % per bulan.

Baterai jenis ini juga memiliki resistansi internal yang rendah, sehingga tidak akan kepanasan meskipun

digunakan pada beban yang membutuhkan arus tinggi atau ketika dilakukan pengisian dengan arus yang tinggi (Kosasih, 2018)

2. Baterai *Lithium ion (Li-ion)*

Baterai ini menggunakan senyawa *lithium* interkalasi sebagai bahan elektrodanya. Berbeda dengan lithium metalik yang dipakai di baterai lithium tanpa isi ulang. Dalam baterai ini, ion lithium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat dilakukan pengisian ulang. Baterai ini memiliki densitas energi dan daya yang tinggi, serta pengisian ulang yang baik dan mengalami kehilangan energi yang lambat dalam kondisi tidak digunakan. Baterai jenis ini banyak digunakan pada peralatan elektronik portable dan perangkat skala besar.



Gambar 3.14 Gambar Baterai Lithium-ion

(sumber: makble.com)

Menurut Buku *Handbook on Battery Energy Storage System*, baterai jenis Li- Ion seperti pada Gambar 3.14 memiliki

efisiensi pengisian dan pengosongan yang tinggi, yaitu sebesar 95 % dibandingkan baterai *lead acid* yang hanya berkisar antara 60 – 70 (Asian Development Bank, 2018). Densitas energi merupakan jumlah energi yang dapat disimpan dalam suatu sistem per satuan volume atau berat.

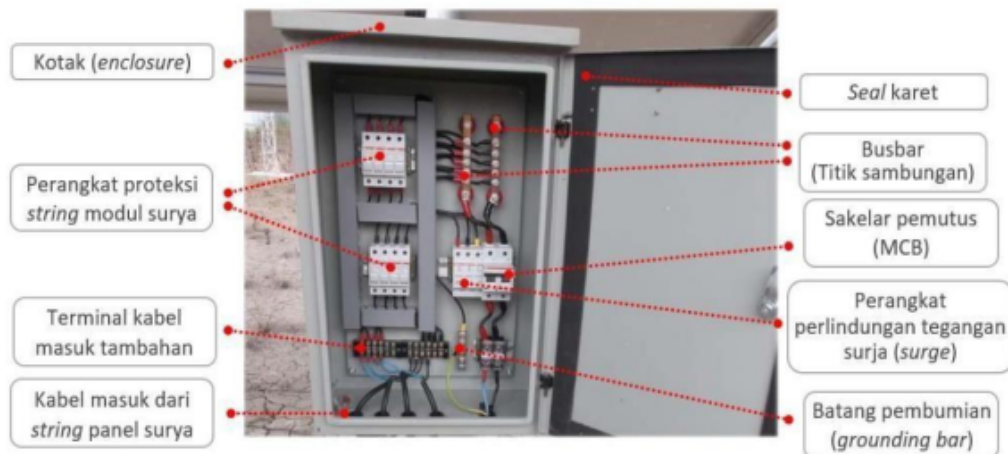
Efisiensi pengisian dan pengosongan merupakan skala kerja yang digunakan untuk menilai efisiensi baterai. Baterai jenis ini juga memiliki masa pakai yang lama dan dapat menyimpan energi lebih banyak di ruang yang kecil karena densitas energinya yang tinggi dibandingkan dengan baterai *lead acid*.

Baterai li-ion beresiko untuk menyebabkan kebakaran dan ledakan apabila mengalami *overcharging*, kelebihan arus, atau hubung singkat karena mengandung oksidator dan bahan bakar yang berada di dalam ruang baterai tertutup. Sayangnya, tidak ada parameter yang dapat menilai keamanan suatu baterai (Akbar, 2020), sehingga rangkaian listrik untuk perlindungan baterai perlu diperhatikan untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan. Dibandingkan dengan baterai *lead acid*, baterai li-ion memiliki harga yang cenderung lebih mahal.

3.5. Combiner Box

Combiner box merupakan perangkat yang menggabungkan beberapa *string* modul surya secara paralel seperti pada Gambar 3.15 untuk disambung ke *Solar Charge Controller* (SCC) atau *inverter*. Masing-masing *string* terhubung pada *busbar* yang sama dan dilindungi secara mekanis dan elektrik.

Dalam perangkat ini, umumnya terdapat perangkat proteksi atau pengaman arus berlebih, *busbar* atau terminal beban, sakelar pemutus arus, dan batang *grounding*. *Output* dari *combiner box* dihubungkan langsung ke SCC pada sistem DC *coupling* atau ke inverter jaringan (*solar inverter*) pada sistem AC *coupling*. Semua sambungan harus kencang dan aman untuk mencegah kebakaran.



Gambar 3.15 Gambar *Combiner Box*
(sumber: energypedia.info)

3.6. Sistem Monitoring

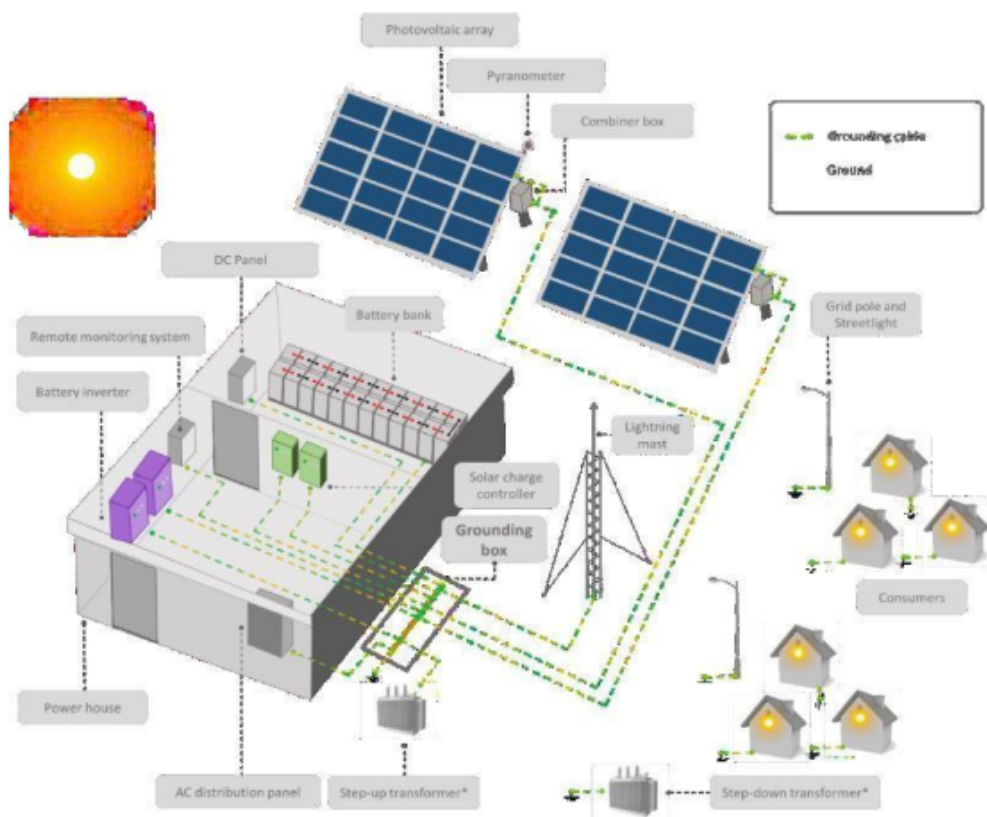
Sistem monitoring dilakukan dengan melakukan pemantauan data pengukuran di setiap titik komponen PLTS (Mutaqqin 2017). *Monitoring* dilakukan menggunakan rangkaian sensor yang mengambil data berupa arus, tegangan, temperatur, dan radiasi matahari di titik yang perlu dipantau. Data tersimpan di dalam kartu memori yang nantinya dapat digunakan untuk menganalisa performa sistem. Data dapat dikirimkan secara langsung dan jarak jauh menggunakan GSM/GPRS. Salah satu perangkat yang termasuk dalam sistem *monitoring* adalah pyranometer.

Pyranometer merupakan sensor radiasi matahari yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari. Alat ini mendeteksi radiasi matahari secara horizontal yang diukur dengan satuan W/m^2 . Alat ini menjadi tolok ukur pembanding *sensor box* yang melakukan pengukuran radiasi matahari dengan elevasi tertentu yang diterapkan pada kemiringan panel surya. Dari pyranometer dan *sensorbox*, dapat diketahui radiasi matahari baik secara horizontal maupun radiasi pada kemiringan panel surya untuk mengetahui intensitasnya.

Peletakan pyranometer sebaiknya diperhatikan untuk mendapatkan data yang akurat. Sebaiknya, pyranometer langsung terkena sinar matahari dan berada di level yang sama dengan modul surya. Hal ini bertujuan agar hasilnya akurat dan menjauhkan pyranometer dari potensi shading atau terkena bayangan, sehingga menghasilkan data yang tidak valid.

3.7. Penangkal Petir dan Grounding

Penangkal petir merupakan alat yang digunakan untuk melindungi peralatan modul surya, inverter jaringan (*solar inverter*), SCC, dan inverter baterai dari sambaran petir. Sistem pentanahan atau *grounding* dibuat menggunakan batang tembaga untuk melindungi komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya dari induksi petir. *Grounding* struktur tiap alat harus disusun menuju bawah tanah dengan rapi seperti pada Gambar 3.16. Kotak *grounding* harus tetap dalam kondisi kering dan saling tersambung dengan baik. *Grounding* yang terpisah beresiko untuk menghasilkan perbedaan potensial antara konduktor *grounding*.



Gambar 3.16 Gambar Sistem *Grounding* dan Penangkal Petir
(sumber: energypedia.info)

BAB 4

CARA KERJA, MANFAAT, PEMELIHARAAN DAN PEMASANGAN INSTALASI PANEL SURYA

4.1. Cara Kerja

⁸ Menurut Muhammad Aldo Pratama (2020) Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun atas kutub positif dan negatif. Prinsip kerja dari sel surya sendiri adalah memanfaatkan efek Fotovoltaik, yaitu mampu mengubah cahaya matahari ke energi listrik secara langsung. Sel surya terbentuk dari bahan dasar silikon berkrystal tunggal yang kemudian dimurnikan hingga membentuk suatu unsur atom.

⁸ Atom merupakan partikel pembentuk suatu unsur. Atom terdiri dari inti dengan muatan positif yang disebut proton dan neutron yang bermuatan netral Inti atom dikelilingi sejumlah elektron yang bermuatan negatif. Sebuah atom silikon terdiri dari sebuah inti yang berisi 14 proton dan dikelilingi 14 elektron yang beredar dalam lintasan tertentu.

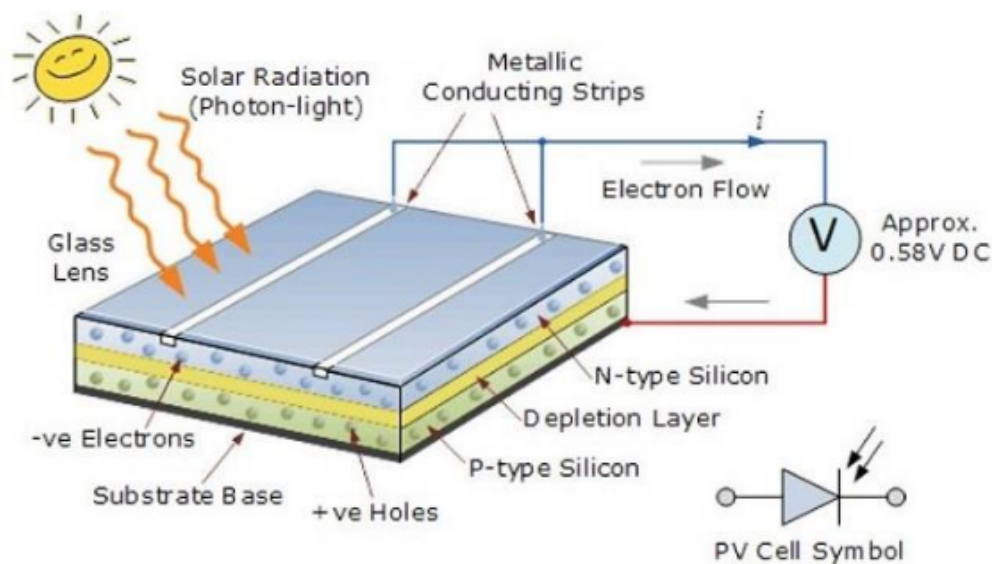
Jumlah maksimum elektron dalam masing-masing lintasan mengikuti pola $2n^2$, dengan n adalah nomor lintasan dari atom (Malvino, 1986).

Apabila atom-atom silikon bergabung membentuk zat padat, maka atom-atom itu akan membentuk suatu pola teratur yang disebut kristal. Setiap atom silikon mempunyai 4 buah elektron valensi dan mempunyai 4 atom tetangga. Setiap atom tetangga memberikan sebuah elektron untuk dipakai bersama-sama dengan atom yang berada di tengah.

Atom yang ditengah mendapat tambahan 4 elektron dari tetangga sehingga jumlah elektron valensi menjadi 14 8 buah, karena inti atom yang berdekatan memiliki muatan positif akan menarik elektron-elektron yang dipakai bersama dan menciptakan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah (Subandi dan Slamet Hani, 2015).

8
9 Dengan terbentuknya sifat atom tersebut, maka terbentuk pula suatu elektromagnetik yang dapat menyebabkan efek Fotovoltaik. Proses Fotovoltaik atau Photovoltaic (PV) adalah proses konversi dari energi cahaya menjadi energi listrik pada tingkat atom. Efek fotovoltaik pertama kali ditemukan pada tahun 1839, oleh fisikawan asal Perancis yang bernama Edmund Becquerel. Hingga saat ini, teknologi fotovoltaik masih diterapkan pada sel surya.

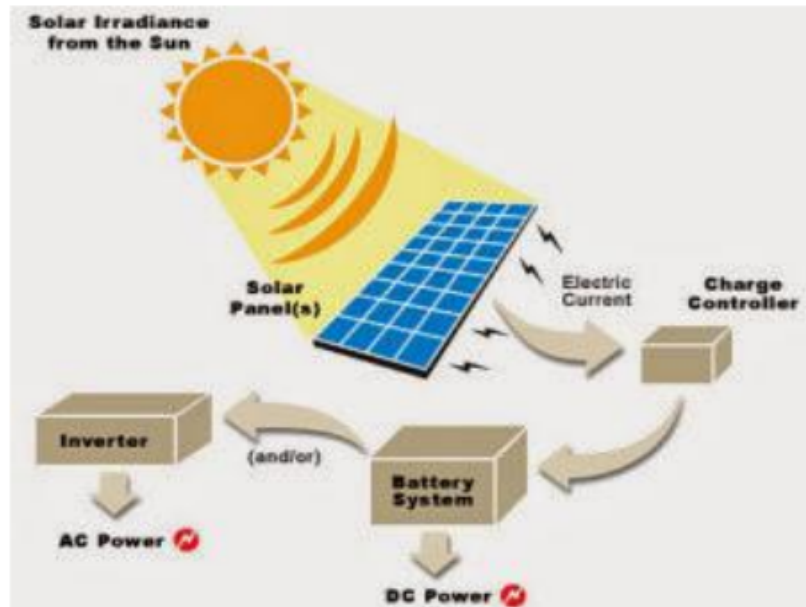
9
Gambar 4.1 menunjukkan energi foton cahaya mengenai semikonduktor tipe N, elektron-elektron pada semikonduktor tipe N dapat terbebaskan. Selanjutnya, elektron yang sudah terbebaskan disambungkan ke semikonduktor tipe P, sehingga elektron dari tipe N mengalir ke tipe P dan terjadilah arus listrik searah atau DC.



Gambar 4.1 Proses terjadinya fotovoltaiik pada sel surya

9
Seperti pada Gambar 4.2 bahwasannya arus listrik yang dihasilkan panel surya adalah arus listrik DC sehingga energi listrik yang dihasilkan dapat disimpan ke baterai. Namun, peralatan elektronik yang digunakan di dalam rumah kebanyakan adalah arus listrik AC. Untuk itu, perlu adanya mengkonversi arus listrik DC ke AC.

Inverter adalah alat yang tepat untuk mengubah arus DC menjadi AC. Jadi, energi listrik yang tersimpan di baterai bisa langsung dialirkan ke inverter. Kemudian, output AC yang dari inverter langsung bisa digunakan untuk instalasi kelistrikan yang ada di rumah.



Gambar 4.2 Pengubah listrik DC ke AC



Gambar 4.3 Inverter Panel Surya

9

Sistem pemasangan panel surya tidak mengharuskan menggunakan baterai. Karena jika listrik yang dihasilkan panel surya sudah cukup digunakan maka tidak perlu menggunakan baterai dan langsung dari solar charge controller ke inverter dan selanjutnya ke instalasi listrik rumah, bahkan jika mempunyai peralatan listrik berarus DC maka dari solar charge controller langsung bisa digunakan.

4.2. Manfaat

Menurut Setyo Yuwono (2021), Pemanfaatan penggunaan panel surya memberikan beberapa dampak yang signifikan. Beberapa manfaat penggunaan panel surya adalah sebagai berikut.

1. Hemat Biaya Listrik Bulanan

Meski memerlukan biaya relatif besar ketika pemasangan, menggunakan panel surya dalam jangka panjang akan memberikan keuntungan secara finansial. Karena berasal dari tenaga matahari yang tak terbatas, pengguna panel surya dapat mengurangi atau bahkan terbebas dari keharusan membayar tagihan listrik bulanan pada perusahaan penyedia listrik negara atau PLN. Seperti diketahui tarif listrik juga terus mengalami kenaikan secara berkala.



Gambar 3.4 Panel Surya Canopy

2. Multifungsi

Selain bisa digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik, panel surya juga bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan

panas atau solar thermal. Solar thermal skala kecil untuk di rumah, umumnya bisa digunakan sebagai penghangat ruangan, pemanas air, hingga penghangat kolam renang. Dalam jangka panjang, pemanfaatan dan penggunaan panel surya juga diarahkan untuk mampu menghasilkan dan mengolah panas atau solar thermal.



Gambar 3.5 Solar Water Heaters

7 3. Minim Biaya Pemeliharaan

Panel surya tidak memerlukan perawatan yang rumit dan berlebihan. Cukup dibersihkan secara rutin secara berkala setiap bulan, perangkat panel surya tersebut tetap akan bisa terjaga dengan baik. Hal ini tentu menghemat anggaran yang perlu dikeluarkan dalam melakukan pemeliharaan. Perangkat panel surya yang ada umumnya bisa berdaya pakai hingga puluhan hingga belasan tahun sehingga mampu menjadi investasi jangka panjang kedepannya.



Gambar 3.5 *Cleaning PV*

7
4. Kontribusi Penyelamatan Lingkungan

Tak terbantahkan lagi bahwa saat ini bumi terus mengalami peningkatan suhu dan pemanasan global yang signifikan. Beralih menggunakan panel surya dapat menjadi salah satu langkah nyata untuk terlibat dalam upaya penyelamatan bumi.

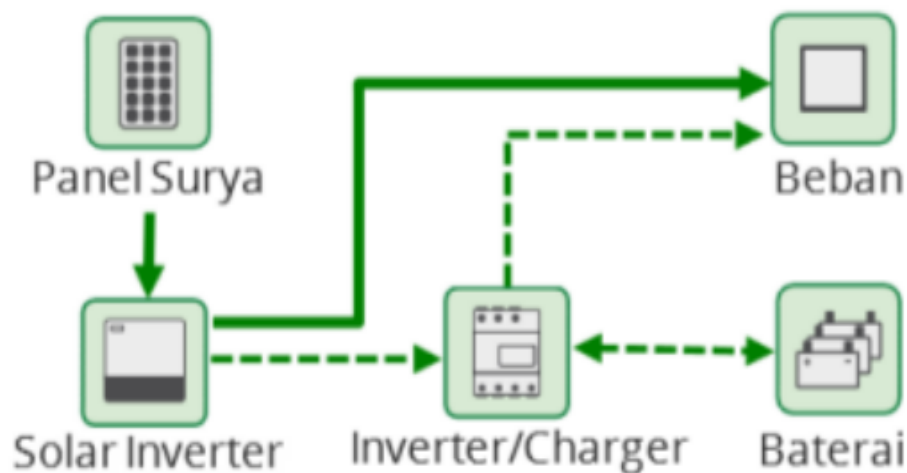


Gambar 4.6 Tenaga Surya PLN di Papua dan Papua Barat

4.3. Sistem PLTS

4.3.1. Sistem PLTS Off-Grid

⁶ Sistem off-grid merupakan sistem PLTS yang umum digunakan untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang benar-benar tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Sistem off-grid disebut juga stand-alone pv system yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Berikut skema sistem off-grid seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



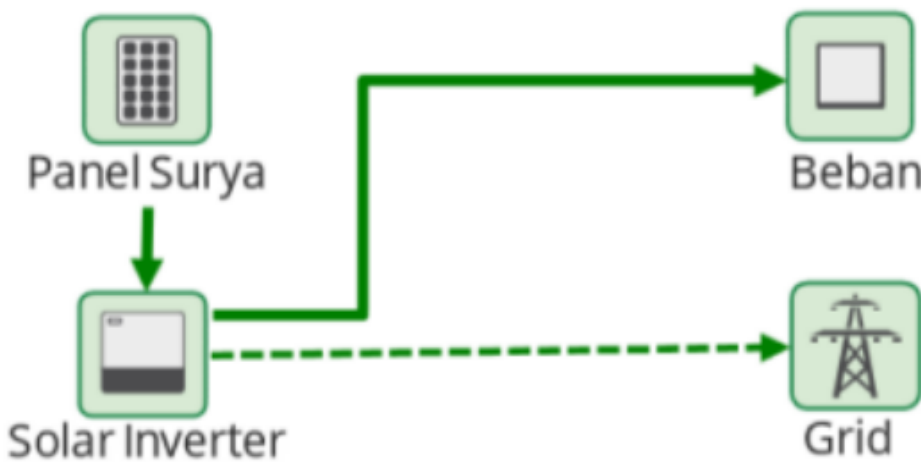
Gambar 4.7 Skema Sistem Off-Grid

(Sumber: Hexamitra.co.id)

4.3.2. Sistem PLTS On-Grid

⁶ Adapun sistem on-grid atau juga yang sering disebut grid-tie system menggunakan panel surya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Rangkaian sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan listrik

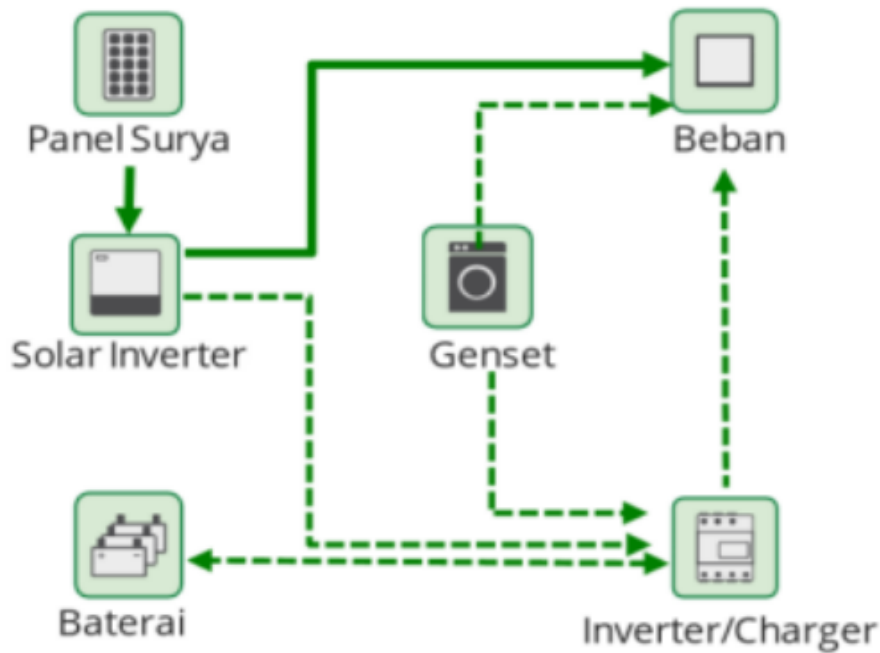
utama dan dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Berikut skema sistem on-grid seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.8 Skema Sistem On-Grid
(Sumber: Hexamitra.co.id)

4.3.3. Sistem PLTS Hybrid

Sistem hybrid merupakan gabungan dari sistem off-grid dan on-grid, sistem ini menghasilkan energi listrik dengan cara yang sama dengan sistem on-grid tetapi tetap menggunakan baterai untuk menyimpan energi.



Gambar 4.9 Skema Sistem *Hybrid*

(Sumber: Hexamitra.co.id)

⁶ Kemampuan untuk menyimpan energi ini memungkinkan sistem hybrid untuk tetap beroperasi sebagai cadangan selama pemadaman. Secara umum istilah hybrid mengacu pada dua sumber pembangkit seperti angin, matahari dan genset. Berikut skema sistem hybrid seperti terlihat pada gambar di bawah ini:

4.4. Pemasangan PLTS

4.4.1. Pemasangan Panel Surya di Tanah

A. Pemasangan Model Pondasi

Panel surya sebagai media utama dalam menyerap energi listrik dari cahaya matahari bisa dipasang di atap rumah dan juga diatas tanah. Memasang panel surya di atas adalah solusi jika kita memiliki keterbatasan lahan, seperti pemukiman yang padat. Tetapi jika kita memiliki lahan kosong seperti

pekarangan yang cukup luas dan terbuka, maka lokasi tersebut bisa kita manfaatkan untuk memasang panel surya.

Secara teknis pemasangan panel surya di atas tanah berbeda dengan pemasangan panel surya di atap rumah. Sebelum memasang panel surya diatas tanah, kita harus merencanakan dan mempersiapkan pondasi dasar yang kokoh untuk memasang tiang dan rangka untuk menempatkan panel surya. Untuk memasang panel surya diatas tanah maka arah dan sudut panel surya bisa kita tentukan sesuai keinginan dan kebutuhan kita. Dengan Keleluasaan menentukan arah panel surya tentunya kita bisa mendapatkan hasil energi listrik dan cahaya matahari lebih optimal, karena kita bisa mengarahkan sesuai dengan posisi matahari dari timur sampai barat, bahkan kita membagi panel surya dari dua arah tersebut (timur dan barat).



Gambar 4. 10 Contoh Pemasangan Panel Surya Model
Pondasi
(Sumber: *Alibaba.co.id*)

Pemasangan panel surya model pondasi juga lebih aman saat pemasangannya, karena kita tidak perlu naik ke atap rumah yang tentunya lebih beresiko apalagi untuk bangunan bertingkat. Kita cukup menyiapkan pondasi dan tiang yang semuanya dikerjakan di atas tanah.



Gambar 4.11 Pemasangan Panel Surya Model Pondasi Balok
(Sumber: Hexamitra.co.id)

Untuk memasang panel surya model pondasi memerlukan biaya yang lebih tinggi karena harus membangun pondasi yang kuat untuk menyangga panel surya diatas pondasi tanah. Selain itu harus menyiapkan tiang tiang penyangga panel surya dan menambahi pagar untuk melindungi panel surya dari kerusakan yang memungkinkan.

B. Pemasangan Model Ballasted Footing

Pemasangan panel surya model blasted footing menggunakan beton ballast sebagai tumpuan utamanya. Ballast adalah alternatif umum yang digunakan pada instalasi

surya yang tidak dapat menembus atap atau tanah. Di tanah tanah yang miring dan datar, banyak pemilik gedung tidak mau menyodok lubang di tanah atau atap dak beton. Tanah temperamental memiliki beberapa masalah yang sama panel surya yang dipasang di atas tutup landfill tidak dapat menembus beton itu.

Jika tanah yang digunakan sebagai tempat pemasangan panel surya tidak dapat dilakukan ekskavasi. Diatas tanah akan dipasang beton beton sebagai dasar dari pipa milik panel surya, sehingga panel surya model Ballasted Footing tetap dapat berdiri diatas tanah yang menghadap ke matahari



Gambar 4.12 Pemasangan Panel Surya Model Ballasted Footing.
(Sumber: Sanspower.com)

C. Pemasangan Panel Surya Model Satu Tiang

Untuk pemasangan panel surya model satu tiang merupakan model pemasangan yang efisien dan lebih cepat. Pemasangan panel surya menggunakan model satu tiang cocok digunakan di lahan yang kosong kemudian bawahnya bisa dimanfaatkan sebagai tempat parkir dan sebagainya.

Keuntungan pemasangan panel surya menggunakan model satu tiang ini tidak perlu menggunakan pondasi yang banyak guna meletakkan panel surya.

Untuk pemasangan model satu tiang ini biasanya menggunakan tiang dengan ketinggian 2-3 meter diatas permukaan tanah guna melindungi dari debu tanah dan banjir. Contoh penggunaan panel surya satu tiang biasanya digunakan pada instalasi PJU (Penerangan Jalan Umum). Beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam pemasangan panel surya model satu tiang adalah

1. Jenis dan kekuatan tanah yang akan dipasang panel surya model satu tiang
2. Besaran panel surya yang akan digunakan
3. Jenis material tiang pipa yang akan digunakan sebagai penyangga model satu tiang
4. Dan pastikan semua material dan komponen dalam kondisi baik agar terhindar dari kerusakan



Gambar 4.13 Pemasangan Panel Surya Model Satu Tiang
(Sumber: Sanspower.com)

4.4.2. Pemasangan Panel Surya di Atap

A. Pemasangan Model Rail Mounting

Rail Mounting ini merupakan jenis pemasangan yang paling umum jika Kita hendak menggunakan pemasangan model atap atau rooftop. Rail mounting ini terdiri dari kliplok, l-feet, rail, mid clamp, dan end clamp, sebuah pembangkit listrik tenaga surya pasti membutuhkan rail mounting agar mempermudah pemasangan panel surya di atap atau rooftop sehingga panel surya tidak langsung diletakkan di atas atap. Bagian-bagian dari railed mounting pada pembangkit listrik tenaga surya sebagai berikut:

1. Kliplok

Kliplok adalah bagian dari rail mounting yang berfungsi untuk menjepit gunungan atap, kliplok ini di bantu oleh dua baut yang berada di bagian atas sehingga tidak melubangi atap, dan untuk meminimalisir kebocoran pada atap.



Gambar 4. 14 Pengaplikasian kliplok pada atap
(Sumber: ATW Solar)

2. L-feet

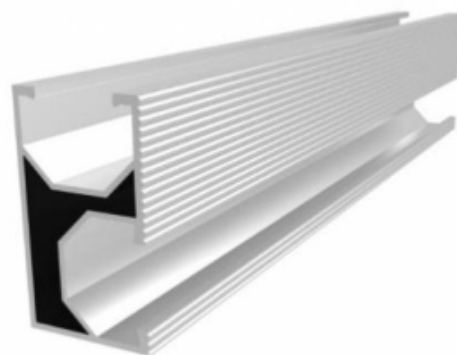
L-feet adalah penyangga rail yang terpasang di atap kliplok, L-feet mempunyai baut yang berfungsi untuk mengatur tinggi rendahnya rail sehingga memudahkan proses levelling, L-feet ini juga dilengkapi nat sehingga waktu pengencangan bisa pas dan tidak akan geser.



Gambar 4.15 Gambar L-feet
(Sumber: Solarrex.com)

3. Rail

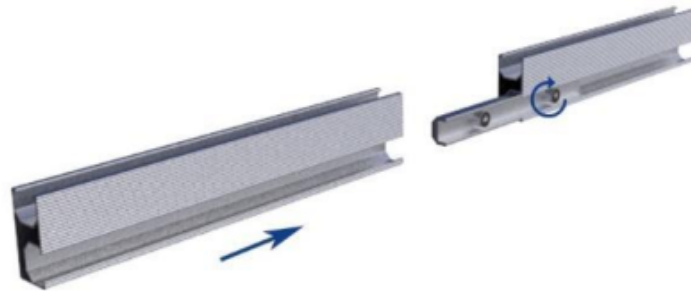
Rail adalah bantalan panel surya yang terbuat dari alumunium yang kuat dan berfungsi untuk melindungi panel surya sehingga panel surya tidak langsung terkena atap. Rail ini memiliki variasi ukuran dan ukurannya menyesuaikan drawing yang dibuat.



Gambar 4. 16 Gambar Rail
(Sumber: Solarrex.com)

4. *Joint Rail*

Join Rail adalah sabungan yang terbuat dari alumunium yang berfungsi untuk menggabungkan antara dua rail dan diapit oleh dua baut



Gambar 4. 17 Gambar joint rail
(Sumber: Solarrex.com)

5. *Mid clamp*

Mid clamp berbentuk seperti huruf T, biasanya terletak di antara panel surya yang berfungsi untuk menggabungkan beberapa panel surya agar terlihat rapi dan ada jarak di antara panel surya.



Gambar 4. 18 Gambar Mid Clamp
(Sumber: Solarrex.com)

6. *End clamp*

End clamp berbentuk seperti huruf Z, biasanya terletak di ujung panel surya yang berfungsi untuk mengunci panel surya agar tidak terbang. End clamp ini dilengkapi dengan satu buah baut stainless M8 dan T modul, T modul nantinya masuk ke dalam rail untuk penguncinya yang didesain untuk satu kali pengencangan jadi, baut end clamp ini tidak mungkin bisa lepas tentunya aman dari terpaan angin.



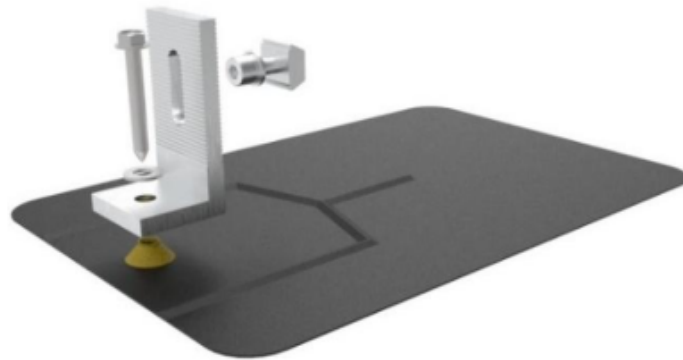
Gambar 4. 19 Gambar End Clamp
(Sumber: Solarrex.com)

B. Pemasangan Model *Rail Less*

Pemasangan model rail less ini dimana panel surya disambungkan menggunakan baut dan sekrup. Dalam pemasangan model rail less ini tidak jauh beda dengan model rail mounting, bedanya untuk model rail less ini tidak menggunakan *kliplok* jadi langsung di skrup di permukaannya.



Gambar 4.20 pemasangan model *rail less*
(Sumber: Sanspower.co.id)



Gambar 4.21 Gambar *L-feet* dan sekrup
(Sumber. Solar Energy)

4.5. Pemeliharaan/Maintenance PLTS

Pemeliharaan merupakan suatu usaha yang dilakukan terhadap peralatan agar selalu dapat beroperasi dengan aman, handal, efisien, memiliki unjuk kerja yang baik dan bisa mencapai umur yang telah ditentukan sehingga untuk memperoleh atau mencapai tujuan tersebut maka dilakukan pemeliharaan.

Standar pemeliharaan bertujuan untuk memberikan pedoman dan petunjuk umum tentang pelaksanaan kegiatan pemeliharaan PLTS, agar memastikan tidak ada kaca modul

yang pecah, kemungkinan terjadinya shading, penumpukan debu berlebihan dan penurunan sebesar 4-8% dari kapasitas produksi akibat penumpukan debu pada permukaan panel apabila tidak dibersihkan. Sehingga terjadi umur teknis yang diharapkan dan biaya pemeliharaan yang optimum. Aktivitas pemeliharaan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bertujuan untuk :

1. Mengembalikan *performance* panel surya.
2. Memperbaiki efisiensi.
3. Meningkatkan kesiapan operasi pembangkit (*Availability Improvement*).
4. Meningkatkan keandalan (*Reliability Improvement*).

4.5.1. Jenis jenis maintenance PLTS

Jenis pemeliharaan itu sendiri secara umum dapat dikategorikan menjadi 3 yaitu :

1. *Condition Based Maintenance*

Pemeliharaan ini dilakukan berdasarkan kondisi terakhir suatu peralatan berdasarkan *record* data yang diambil. Dalam pemeliharaan jenis ini suatu peralatan dipantau dan diamati kondisinya secara rutin setiap hari. Data operasi dari peralatan dicatat dan dijadikan dasar untuk pelaksanaan kegiatan pemeliharaan. Waktu pelaksanaan kegiatan pemeliharaan tidak tertentu, tergantung dari indikasi yang ditunjukkan oleh kondisi suatu peralatan dalam *record* data.

2. *Time Based Maintenance*

Berbeda dengan *condition based maintenance*, kegiatan pemeliharaan jenis ini dilakukan berdasarkan jadwal kegiatan yang telah ditetapkan. Kegiatan pemeliharaan

dilakukan secara teratur dalam jangka waktu tertentu. Kegiatan pemeliharaan tidak memperhatikan kondisi dari suatu peralatan. Pada pemeliharaan jenis ini walaupun kondisi peralatan masih dalam kondisi optimal, akan tetapi bila waktu kegiatan telah jatuh tempo maka kegiatan pemeliharaan harus dilaksanakan.

3. *Breakdown Maintenance*

Breakdown maintenance berbeda dengan kegiatan pemeliharaan pertama dan yang kedua yang dilakukan secara terencana. Terencana yang dimaksud disini adalah terencana dalam segi persiapan waktu dan peralatan cadangan yang akan dioperasikan bila peralatan utama sedang dalam pemeliharaan. *Breakdown maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang tidak terencana.

4.5.2. Pemeliharaan Komponen PLTS

1. Pemeliharaan Panel Surya

- a. Pemeliharaan Panel Surya dalam hal ini dimaksudkan dengan membersihkan debu kotoran atau *Cleaning PV* pada panel surya dan bagian bawah *rangkaian* panel agar tidak terjadi penumpukan debu kotoran yang dapat mengganggu performa panel itu sendiri.
- b. Pemeliharaan Panel Surya selanjutnya yaitu mengukur dan mencatat arus yang dihasilkan dari setiap *string* panel surya dan memastikan bahwasannya seluruh *string* memiliki nilai besar variasi arus operasional yang mirip. Besarnya variasi arus keluaran dapat mengindikasikan area dimana *rangkaian* panel surya terkena bayangan (*shading*) atau kotor untuk di investigasi lebih lanjut.

- c. Pemeliharaan Panel Surya Selanjutnya yaitu mengukur dan mencatat tegangan setiap *string*. Pastikan bahwa semua *string* yang terhubung ke inverter yang sama memiliki polaritas yang sama dan memiliki variasi Voc yang tidak jauh berbeda ($\pm 5V$). Apabila variasi tegangan *string* lebih besar dari 5V, maka periksa kembali sambungan individu pada *string* tersebut.
 - d. Penggunaan kamera *infrared* untuk menginspeksi titik-titik panas dan kerusakan *bypass diode*.
 - e. Pemeriksaan clamp modul, baut railing, dan kaki mounting apabila terjadi korosi.
2. Pemeliharaan Inverter
- a. Pemeriksaan alarm gangguan pada yang terjadi pada inverter
 - b. Catat daya AC pada *input* dan *output* inverter dan memastikan inverter masih dalam batas optimal.
 - c. Memastikan update *firmware* inverter dan sistem *monitoring* lewat smartlogger.
3. Pemeliharaan Sistem Kelistrikan
- a. Inspeksi sistem rak kabel apabila terdapat cacat seperti karat, korosi, bergantung, dan kerusakan pada penjepit atau baut.
 - b. Pemeriksaan hubungan *earthing* dan memastikan kontinuitasnya masih berada dibawah hambatan yang dibutuhkan di antara panel dan *grounding rod* menggunakan metode tes megger.
 - c. Pemeriksaan *conduit/enclosure* terpasang kuat.
 - d. Pemeriksaan konektor listrik terhadap korosi

4. Pemeliharaan *Switch Isolator/Fuse*

- a. Pemeriksaan junction box yang tertutup rapat dan terhindar dari air dan hewan yang masuk.
- b. Pemeriksaan junction box terhadap perubahan warna pada terminal, *board*, dan *fuse holder* di dalamnya.
- c. Pemeriksaan korosi terminal dan kerusakan karena air.
- d. Pemeriksaan operasi peralatan proteksi *earth fault* dan *surge arrester*.

5. Pemeliharaan Sistem Monitoring pada PLTS

Pemeliharaan *Monitoring System* merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan pada *SmartLogger Box* yang bertujuan agar tiap *part* nya berupa ADAM 4117 sebagai pengubah sinyal Analog dari Sensor Pyranometer, Suhu Ambient, Suhu Module PV, Wind Speed, dll. ke Sinyal Digital tersebut dapat diolah dengan baik oleh *SmartLogger Huawei 3000* agar mendapat pembacaan kondisi di lapangan secara maksimal. Nantinya dari website *monitoring* dapat terlihat hasil dari sensor tersebut. Pemeliharaan *Monitoring System* ini diharapkan pada tiap *part* nya dapat beroperasi secara maksimal, andal, efisien, aman dan dapat mencapai umur pakai (*life time*) sesuai dengan yang direncanakan.

Untuk Pemeliharaan *Monitoring System* secara garis besar pemeliharaannya dibagi menjadi empat jenis, Adapun beberapa jenis pemeliharaan *monitoring system* tersebut yaitu:

1. Pemeliharaan Rutin

- a. Memastikan *SmartLogger* jauh dari sumber panas.
- b. Memastikan *SmartLogger* bebas dari interferensi elektromagnetik yang kuat.

- c. Melakukan pembersihan *SmartLogger* secara teratur.
- d. Pemeriksaan kencang kabel secara teratur.

2. Pemecahan Masalah

- a. Perbaiki *SmartLogger* yang tidak dapat dihidupkan dengan melakukan pemeriksaan pada kabel daya output DC adaptor daya ke port 12V IN pada *SmartLogger*
- b. Perbaiki *Smartlogger* yang tidak dapat *connect device* lain dengan melakukan pemeriksaan pada sambungan kabel RS485 dikhawatirkan kabel longgar, terputus ataupun terhubung terbalik.
- c. Perbaiki jaringan komunikasi 4G yang tidak normal dengan melakukan pergantian kartu SIM dan pengencangan antena 4G.

3. Alarm Maintenance

- a. Peringatan Circuit Breaker yang terputus diatasi dengan melakukan perbaikan teknis berupa menyambungkan kembali Circuit Breaker tersebut.
- b. Peringatan Kesalahan pada SPD dapat diatasi dengan melakukan pemeriksaan dan perbaikan pada kabel ke SPD yang berpotensi kendur, terputus atau terhubung terbalik.
- c. Peringatan lisensi kadaluarsa dapat diatasi dengan melakukan pergantian lisensi yang baru untuk menggantikan lisensi yang lama.

4. Pemeliharaan Website

- a. Melakukan *upgrading* pada versi firmware perangkat
- b. Melakukan *setting* parameter keamanan
- c. Mengirim perintah *system maintenance*

4.6. Tahap Pemasangan Instalasi PLTS Secara Industri

1. Instalasi Sistem Mounting

Pekerjaan instalasi sistem mounting di rooftop pabrik biasanya menggunakan jenis KlipLok BL-600. Sistem mounting berfungsi sebagaiudukan solar PV agar tertata dengan rapi dan aman dari hembusan angin yang kencang. Pemasangan sistem mounting terdiri dari beberapa komponen seperti *Kliplok BL-600, Rail, Joint Rail, L feet, T module*. Gambar sistem mounting sebagai berikut:



Gambar 4.22 Kegiatan Pekerjaan Instalasi Sistem Mounting
(Sumber: ATW Solar)

2. Instalasi Shelter PLTS

Shelter berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan komponen Inverter, Panel DC Combiner, Panel Smart Logger,

dan Panel AC Combiner dari hujan dan panas. Komponen rangka Shelter menggunakan besi jenis UNP dan besi CNP.



Gambar 4.23 Shelter PLTS

(Sumber: ATW Solar)

3. Pemasangan Panel DC Combiner

Pemasangan panel DC Combiner merupakan pekerjaan merangkai rangkaian jalur kabel listrik sesuai dengan drawing yang sudah dibuat. Terdapat 2 komponen penting didalam panel DC Combiner yaitu SPD (Surge Protective Device) dan Fuse yang fungsinya sebagai proteksi ganda jika terjadi lonjakan arus listrik yang berlebih seperti sambaran petir. Penataan jalur kabel harus sesuai dan rapi seperti pada gambar drawing panel DC Combiner. SPD dan Fuse dirangkai secara paralel untuk disalurkan menuju ke inverter. Pada panel DC Combiner terdapat 4 jalur kabel yaitu (+) jalur Incoming, (-) jalur incoming, (+) jalur Outgoing, (-) jalur

Outgoing. Contoh penyusunan wiring panel DC Combiner pada gambar berikut:



Gambar 4.24 Pemasangan Instalasi Panel DC Combiner
(Sumber: ATW Solar)

4. Pemasangan Panel AC Combiner

Fungsi dari panel AC Combiner yaitu sebagai pemutus dan penghubung arus listrik 3 fasa RST-N antara output dari inverter dan panel beban induk dan juga sebagai pengaman arus AC tegangan tinggi untuk menghindari korsleting listrik. Komponen dalam panel AC Combiner yaitu *MCCB*, *Current Transformer*, dan *KWH Meter*.



Gambar 4.25 Pemasangan Instalasi Panel AC Combiner
(Sumber: ATW Solar)

5. Uji Commisioning Test



Gambar 4.26 Quality Control pada Commisioning Test
(Sumber: ATW Solar)

Uji Commisioning Test adalah tahap pengerjaan Quality Control (QC) ketika semua komponen PLTS sudah dirangkai semuanya dan terhubung saat interkoneksi dan sudah dalam proses finishing awal. Comissioning Test berfungsi sebagai tes uji untuk memastikan bahwa seluruh instalasi PLTS benar dan dalam kondisi baik untuk dilakukan interkoneksi pembebanan dan memastikan untuk tegangan dan arus pada keadaan normal. *Comissioning Test* menggunakan alat SEAWERD beserta sensor iradiasi dan avometer tes dan dilakukan pengecekan dari setiap string Solar PV.

6. Energize

Energize adalah tahap akhir penyalaan seluruh instalasi sistem PLTS dalam kondisi siap dilakukan pembebanan. Contoh energize dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1.27 Tahapan Energize
(Sumber: ATW Solar)

4.7. Pemasangan Mounting Sistem Sesuai Standar Industri PLTS

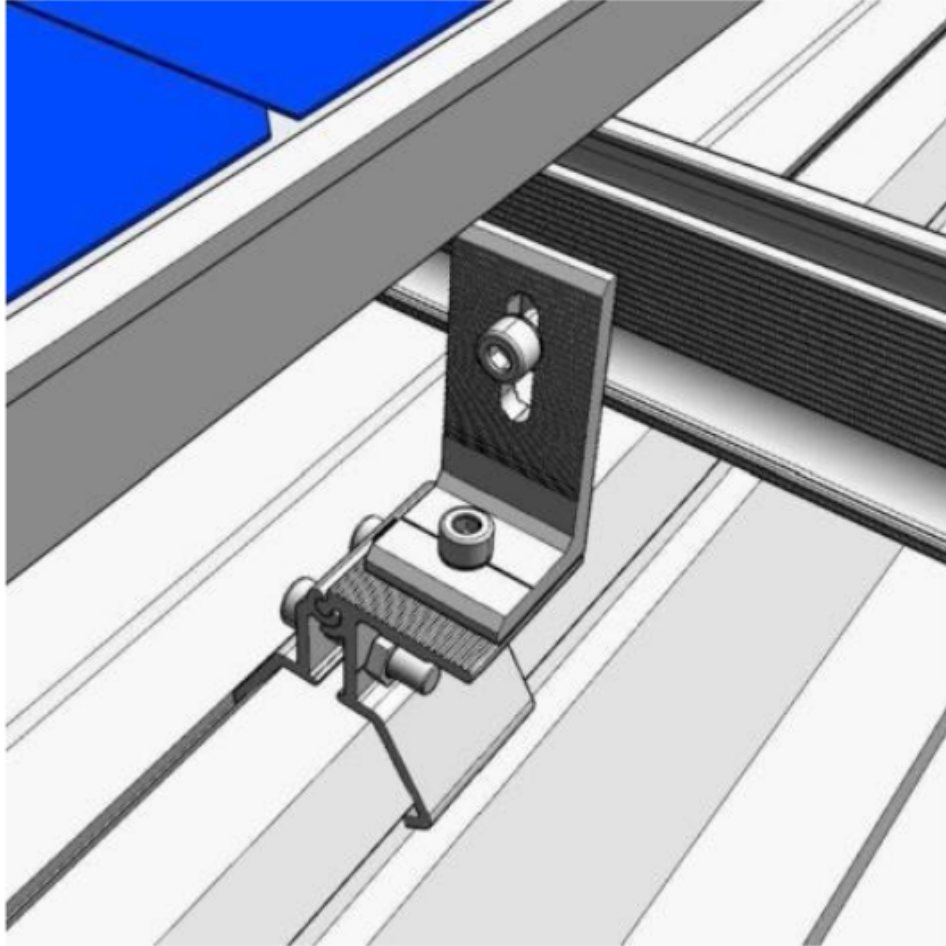
Mounting system merupakan rangkaian pendukung dalam konstruksi panel surya atap, mounting system instalasi PLTS terdiri dari kliplok BL-600, L feet, dan rail. Material mounting system berbahan alumunium dan besi stainless. Beberapa keuntungan penggunaan *kliplok metal roof mounting system*:

1. Penjepit *kliplok* hanya dipasang ke atap dan memberikan solusi pengikatan non-penetrasi yang aman.
2. Aluminium sepenuhnya anodized (kuat dan tahan korosi).
3. Dapat digunakan dengan rail pemasangan bawah.
4. Instalasi lebih mudah dan efisien.

Penjepit kliplok menyediakan cara mudah untuk memasang panel surya di atap. Antarmuka kliplok adalah platform kecil yang menjepit tulang rusuk kliplok tanpa mengebor melalui atap. Penjepit pemasangan panel surya dapat digunakan dengan rail pemasangan bawah, yang dapat menghemat waktu pemasangan dan biaya tenaga kerja.

4.7.1 Fungsi Mounting Sistem Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sebuah pembangkit listrik tenaga surya *rooftop* pasti memerlukan mounting system agar mempermudah penataan panel surya di atap *rooftop* sehingga panel surya tidak langsung di letakkan di atas atap. Prinsip kerja kliplok BL-600 ialah menjepit gunungan atap lalu dipasangkan pada *L-feet*, selanjutnya *kliplok* dan *l-feet* tadi dipasangkan pada rail dimana rail tersebut menjadi bantalan untuk meletakkan panel surya. Contoh pada gambar berikut ini:



Gambar 4.28 pemasangan Kliplok dan L-feet
(Sumber : Solaracks)

4.7.2 Fungsi Penggunaan Mounting pada PLTS Atap

Kliplok BL-600 yang umumnya digunakan sebagai penjepit rangkaian mounting system pada atap pabrik terbuat dari bahan alumunium yang kuat dan tidak mudah berkarat. Pemasangan *kliplok* BL-600 agar terjepit pada atap dengan menggunakan dua buah baut M8 menggunakan kunci L'6 dan kunci 13 terlihat seperti gambar di bawah ini



Gambar 4.29 Pemasangan Mounting *KlipLok* menggunakan Kunci L 6mm

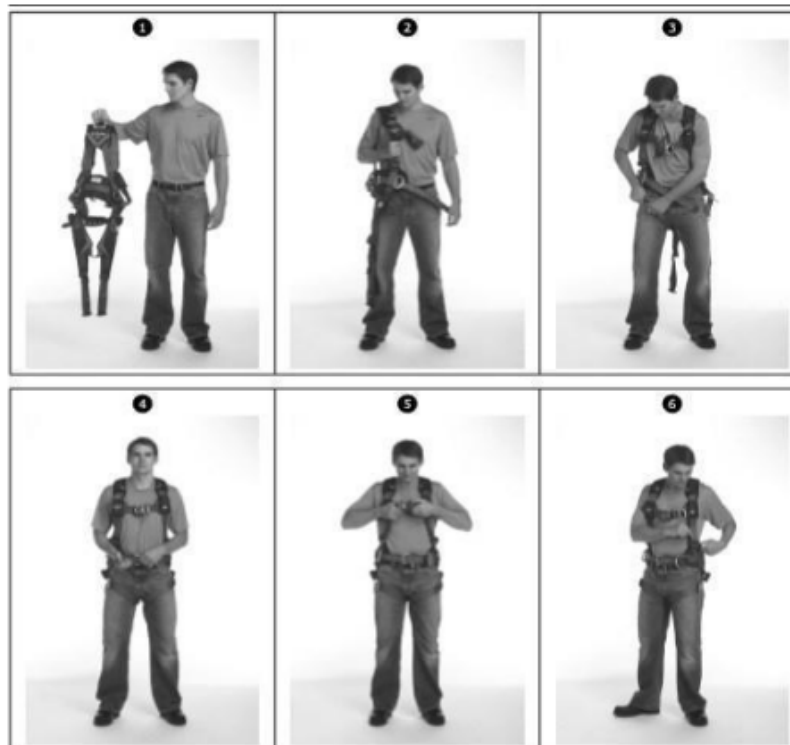
4.8. Cara Pemasangan Mounting Sistem sebagai dudukan Panel Surya

4.8.1. Persiapkan Peralatan Safety Pekerjaan

Langkah langkah peralatan *safety* persiapan pekerjaan sebagai berikut:

- a. Melakukan pengecekan tensi pada semua staff, *manpower* dan operator *boom lift*. Pastikan semua dalam kondisi fit
- b. Melakukan *toolbox meeting* sebelum melakukan kegiatan guna memastikan semua staff dan *manpower* dalam kondisi fit dan siap bekerja, serta untuk memastikan setiap alat dan material sudah lengkap dan dalam kondisi layak pakai

- c. Pastikan pekerja menggunakan APD yang sesuai dengan tempat bekerja
- d. Menggunakan Helm, rompi, sepatu *safety* wajib di seluruh area proyek



Gambar 4.30 Urutan Memakai *Body Harness*
(Sumber: ATW Solar)

- e. Menggunakan *body harness* untuk pekerjaan di ketinggian dengan cara sebagai berikut:
- f. Memastikan *lanyard* dan konektor tidak terbelit serta hook dalam keadaan baik
- g. Pasang *lanyard* pada *lifeline/cross brace* saat melakukan pekerjaan di atas ketinggian 1,8 meter (Permenaker N0. 9 Tahun 2016)

Tabel 1. Persiapan Peralatan Safety

No	Nama Alat	No	Gambar	No	Gambar
1	<i>Safety Helmet</i> 	6	<i>Hand Glove</i> 	11	Kotak P3K 
2	<i>Safety Shoes</i> 	7	<i>Ear plug</i> 	12	Kacamata 
3	<i>Safety Vest</i> 	8	<i>Police line</i> 	13	Masker 
4	<i>Full Body Harness</i> 	9	Sarung Tangan Karet 		

4.8.2. Persiapan Peralatan dan Material

- a. Meteran 5m
- b. Meteran roll
- c. Kunci L
- d. Kunci pas 13
- e. Torsi

- f. *Kliplok Solarack BL-600*
- g. *Rail Solarack*
- h. Spidol Marker permanen
- i. *L feet* 80mm dan 125mm
- j. Benang Kasur
- k. Karung goni
- l. *Report* inspeksi atap

4.8.3. *Lifting Mounting System*

Lifting mounting sistem merupakan pengangkatan semua material ke atap dengan menggunakan katrol dan dibantu oleh tali *karmantel*. Berikut langkah langkah pengangkatan material ke atap

- a. Cek kondisi katrol sebelum melakukan pengangkatan. Lakukan uji Tarik pada tali katrol dan pastikan katrol terikat dengan baik dan kuat serta pastikan semua peralatan telah siap dan aman untuk digunakan
- b. Bongkar material di lokasi, tempatkan di gudang/ area yang telah ditentukan dan posisikan palet *mounting* di dekat titik pengangkatan.
- c. Pastikan akses pemindahan dari palet ke katrol terbebas dari bahaya, pemindahan dilakukan oleh 2 *manpower* ber-APD lengkap
- d. Pastikan tidak ada orang dibawah material saat pengangkatan berlangsung. Pasang *physical barrier* dan *safety sign* "hati-hati ada pekerjaan lifting"
- e. Lakukan proses pemindahan *mounting* dari tempat penyimpanan sementara ke titik pengangkatan

- f. Lakukan pengangkatan vertical menggunakan katrol dengan dibantu 2 *manpower* sebagai penarik posisi di atas, 2 *manpower* sebagai pengikat material dengan tali karmantel serta pengarah saat penarikan, dan 2 *manpower* menerima material di atas atap. Pada Gambar berikut:



Gambar 4.31 Pengangkatan *Mounting* sistem ke Atap
(Sumber: ATW Solar)

- g. Pastikan penempatan material *mounting system* di atas atap berada di tempat yang aman
- h. Pastikan jumlah material sudah sesuai, pengecekan dan pencatatan dilakukan oleh supervisor.

4.8.4. Pengangkatan Rail

Berikut langkah langkah pengangkatan *rail* :

- a. Cek kondisi katrol sebelum melakukan pengangkatan.
Lakukan uji Tarik pada tali katrol dan pastikan katrol

terikat dengan baik dan kuat serta pastikan semua peralatan telah siap dan aman untuk digunakan

- b. Bongkar material di lokasi, tempatkan di gudang/area yang telah ditentukan dan posisikan palet mounting di dekat titik pengangkatan.
- c. Pastikan akses pemindahan *rail* dari palet ke katrol terbebas dari bahaya, pemindahan dilakukan oleh 2 manpower ber-APD lengkap.
- d. Pastikan tidak ada orang dibawah material saat pengangkatan berlangsung. Pasang *physical barrier* dan *safety sign* "hati-hati ada pekerjaan *lifting*"
- e. Lakukan proses pemindahan *rail* dari tempat penyimpanan sementara ke titik pengangkatan
- f. Ikat kail dengan tali *karmantel* dan beri selimut pada bagian bawah rail menggunakan karung goni sebagai penahan, pastikan ikatan sudah kuat
- g. Lakukan pengangkatan vertical menggunakan katrol dengan dibantu 2 manpower sebagai penarik posisi di atas, 2 *manpower* sebagai pengikat material dengan tali karmantel serta pengarah saat penarikan, dan 2 *manpower* menerima material di atas atap.
- h. Pastikan penempatan material *mounting system* di atas atap berada di tempat yang aman.
- i. Pastikan jumlah material sudah sesuai, pengecekan dan pencatatan dilakukan oleh supervisor.

4.8.5. Pemasangan *Mounting Sistem*

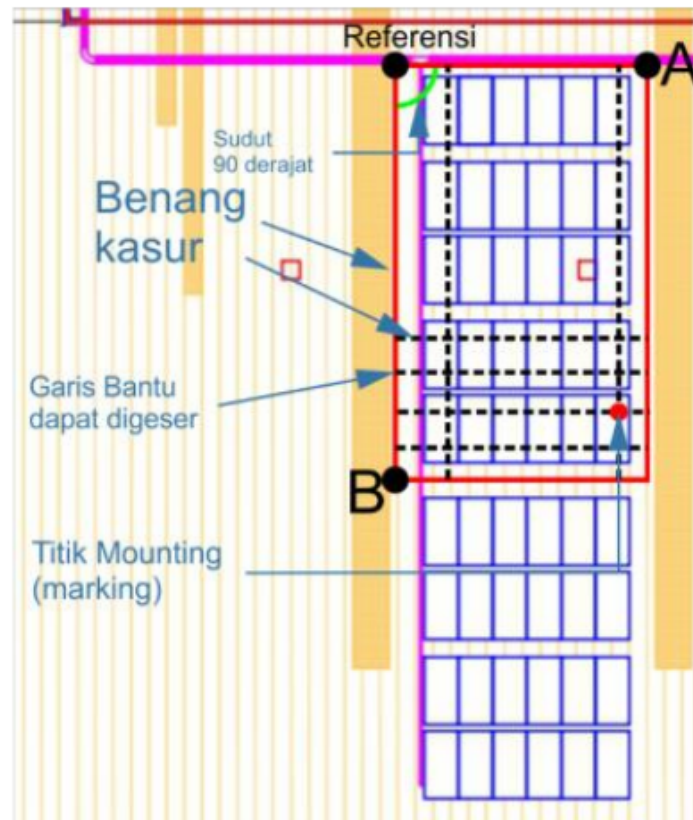
Sebelum pemasangan *mounting system* tentunya ada persiapan pemasangan agar tidak ada kendala saat pemasangan *mounting*, berikut tahapan dalam persiapan pemasangan *mounting system*.

- a. Pastikan alat dan material yang akan dipasang sudah tersedia dan berfungsi dengan baik
- b. Pastikan panjang rail sesuai dengan gambar perancangan
- c. Siapkan gambar kerja titik *mounting*
- d. Siapkan report inspeksi atap sebagai bahan pertimbangan saat penerapan marking *mounting*
- e. Lakukan penandaan titik lokasi kliplock sesuai dengan gambar perancangan
- f. Gunakan alat bantu berupa tali/benang untuk meluruskan posisi Kliplok

Rangkai kliplok dengan *L feet* dan *packing* lagi ke dalam dus hingga rangkaian kliplok dan *l-feet* siap untuk di lifting

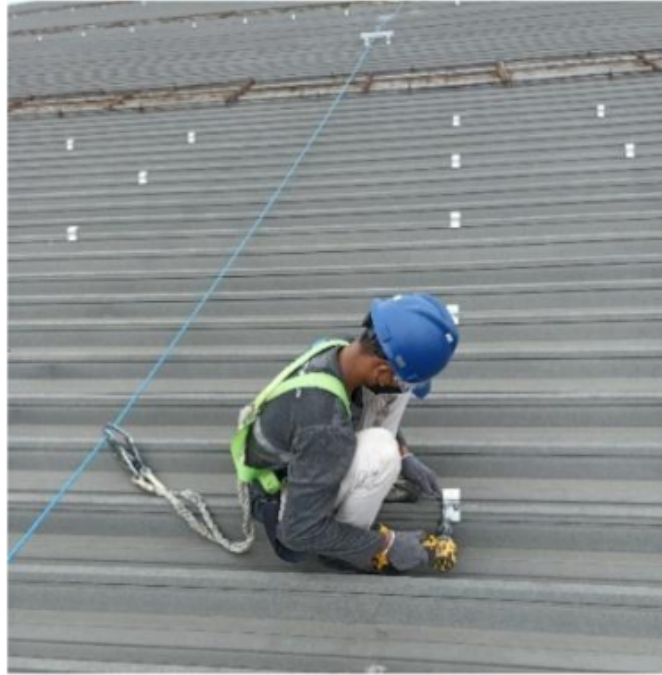
Setelah persiapan lanjut ke tahap pemasangan *mounting system*, adapun tahapan dalam pemasangan *mounting system* sebagai berikut

- a. Pemetaan titik *mounting* menggunakan marker dan benang.
- b. Dapatkan titik referensi untuk titik A, pastikan titik A sudah siku (sudut 90°).
- c. Ulang Langkah (b) untuk titik B.
- d. Sudut siku pada titik A dan B dapat membantu kelurusan marking *mounting vertical* dan *horizontal*.



Gambar 4.32 Drawing Cara Membuat Siku Pada *Mounting*
(Sumber: ATW Solar)

- e. Lihat gambar dan sesuaikan dengan kondisi atap dan ditandai dengan spidol permanen (*kliplok* dipasang pada titik tersebut).
- f. Pastikan atap pada titik marking dapat dipasang *kliplok*, atap profil tidak mengalami penyok maupun miring.
- g. Buka *kliplok* dengan melonggarkan *bolt*.
- h. Posisikan *kliplok* pada titik yang sudah ditentukan.
- i. Tutup *kliplok* dengan mengencangkan *bolt*, pastikan *kliplok* sudah ditutup dengan sempurna dan tidak kendur dengan menggunakan torsi sesuai standar.



Gambar 4.33 Pemasangan Mounting Sistem
(Sumber : ATW Solar)

- j. Pastikan posisi *kliplik* yang terpasang sudah lurus dan memiliki jarak yang sesuai dengan gambar perancangan.

2.8.6. Pemasangan Rail

- a. Lihat gambar dan sebariskan *rail* pada titik yang akan dipasang.
- b. Gunakan *Rail Splice Kit* untuk penyambungan Rail, pastikan terpasang zigzag dan torsi dengan kekuatan 14Nm.
- c. Pasangkan Rail pada *L feet*, pastikan setiap pasang Rail memiliki ketinggian yang sama dan paralel dengan sudut kemiringan atap dengan cara mengatur ketinggian *bolt* pada *L feet*.
- d. Pastikan panjang *overhang* Rail tidak melebihi 800 mm dari titik *kliplik* paling ujung.
- e. Pasang Rail dari sisi atas atap ke samping, lalu dilanjutkan baris di bawahnya sampai selesai.



Gambar 4.34 Pemasangan Railudukan Panel Surya
(Sumber : ATW Solar)

Pasca Pemasangan

- Ukur hasil pemasangan dan bandingkan dengan gambar perancangan.
- Lakukan penyesuaian posisi *mounting* system sesuai dengan keadaan di lapangan.
- Pastikan tidak ada alat dan material yang tertinggal di lokasi instalasi.
- Pastikan lokasi instalasi bersih.
- Pastikan tidak ada kerusakan pada atap lokasi instalasi.

BAB 5

PERAWATAN DAN KERUSAKAN PANEL SURYA

5.1. Perawatan Pada Panel Surya

Perawatan atau yang biasa disebut *maintenance* adalah suatu kegiatan untuk mempertahankan kondisi fasilitas dengan cara mengagendakan, menanggulangi dan mengontrol pekerjaan sehingga berguna untuk menjamin performa suatu benda atau komponen selama operasi dan meminimalisir adanya kerusakan yang mengakibatkan hilangnya performa.

5.1.1. Tujuan Perawatan

Tujuan adanya maintenance yaitu menambah usia produk dan memperbaiki. ¹² Namun menurut Daryus A, (2008), dalam bukunya yang berjudul “manajemen Pemeliharaan Mesin”, beberapa tujuan maintenance adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang daya guna sebuah aset mesin, agar kapasitas produksi dan kualitas input tetap terjaga

2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri, dan kegiatan produksi yang tidak terganggu alias berjalan dengan lancar
3. Membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas, dan menjaga modal uang diinvestasikan tersebut
4. Mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja
5. Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja
6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah

5.1.2. Jenis-Jenis Perawatan

1. *Preventive Maintenance* (PM)

¹² Preventive maintenance (PM) atau Perawatan berkala adalah perawatan yang dilakukan guna mencegah terjadinya kerusakan pada sistem. Preventive maintenance dilakukan dalam periode tetap tujuannya agar produk yang dihasilkan maksimal. Berikut contoh perawatan berkala pada panel surya:

A. Pembersihan panel surya dari debu dan kotoran.

Pembersihan panel surya merupakan pemeliharaan rutin yang dilakukan setiap 3-6 bulan sekali tergantung dari tingkat kekotorannya. Pemeliharaan ini sangat berpengaruh

terhadap daya *output* yang dihasilkan. Semakin kotor permukaan panel surya maka semakin kecil iradiasi yang dapat diserap oleh sel surya sehingga daya output yang dihasilkan akan turun. Namun dibalik itu ada hal negatif yang dapat terjadi selama proses pembersihan dilakukan yaitu permukaan panel surya pecah atau retak. Kerusakan ini dapat terjadi karena 2 faktor yaitu tekanan yang berlebih dan para pekerja yang terpaksa menginjak sisi samping panel surya untuk menjangkau seluruh sisi panel surya.



Gambar 5.1 *Cleaning Maintenance*
(Sumber: Data Primer Diolah 2022)

Berikut perlengkapan yang digunakan untuk cleaning maintenance:

- 1) *Sepatu safety*
- 2) *Helm safety*
- 3) *Body harness*
- 4) Kacamata gelap
- 5) Sarung tangan
- 6) masker

Berikut alat dan material yang digunakan:

- a. Alat pel
- b. Selang air
- c. Wiper
- d. Majun
- e. Air yang mengalir

Berikut langkah yang dilakukan:

- 1) Pengarahan selama kegiatan, potensi bahaya yang dihadapi, dan pembagian pekerjaan.
- 2) Selang ditarik hingga dekat ke panel surya. Kemudian nyalakan kran dan siram panel surya ke seluruh permukaannya.
- 3) Gosok permukaan panel surya menggunakan alat pel dengan memberi sedikit tekanan.
- 4) Bilas permukaan panel surya. Kemudian bersihkan air menggunakan alat bantu wiper.

Berikut potensi kecelakaan kerja yang dapat terjadi:

- 1) Tergelincir

Kecelakaan kerja ini berpotensi tinggi dialami oleh para pekerja karena cleaning maintenance bersentuhan langsung dengan air yang mengalir untuk

pencegahannya pekerja diwajibkan menggunakan *safety boot shoes* berbahan karet.

2) Terjatuh

Kecelakaan ini dapat terjadi terutama pada PLTS atap dimana permukaan atap tidak rata sehingga para pekerja harus ekstra berhati-hati.

3) Iritasi mata akibat cahaya berlebih

Pantulan cahaya matahari pada permukaan panel surya yang terkena air mengakibatkan pantulan cahaya berlebih. Penggunaan kaca mata berwarna gelap bisa mengurangi potensi bahaya ini

4) Dehidrasi berlebih

Pekerjaan yang dilakukan di siang hari dan dilakukan secara manual menyebabkan dehidrasi terus menerus. Oleh karena itu, para pekerja diharuskan minum paling tidak setiap 15 menit sekali untuk mencegah terjadinya dehidrasi berlebih.



Gambar 5.2 Perbedaan PV yang Sudah Dibersihkan
Dengan yang Belum Dibersihkan
(Sumber: Maintenance PT ATW Solar)

B. Pembersihan kotoran pada bagian bawah *rangkaian* panel.

Panel surya dipasang menggunakan rangkaian *mounting* yang berfungsi sebagai penyangga akibatnya bagian bawah panel memiliki ruang kosong yang berpotensi menjadi sarang oleh serangga atau unggas. Oleh karena itu, pembersihan dilakukan untuk mencegah adanya komponen yang rusak. Pembersihan dilakukan dengan cara mengecek satu persatu bagian bawah panel surya dengan tetap memperhatikan K3.

C. Pemeriksaan cacat pada panel surya

Pemeriksaan cacat pada panel surya seperti timbulnya warna kecoklatan, kerusakan fisik, dan korosi. Pemeriksaan dilakukan dengan cara mengecek satu persatu panel surya yang terpasang. Panel yang cacat tentu sangat berpengaruh pada hasil produksi sistem PLTS oleh karena itu pemeriksaan ini harus dilakukan secara berkala guna mencegah kerusakan yang lebih parah.

D. Pemeriksaan komponen pendukung pada panel surya

Komponen pendukung pada panel surya yaitu, *clamp* modul, baut *railing*, dan kaki *mounting*. Pemeriksaan yang dilakukan berupa pengecekan kekuatan pada komponen pendukung menggunakan kunci L atau kunci ring pas sesuai dengan ukuran baut dan mur yang digunakan. Tujuannya untuk mencegah panel surya geser.



Gambar 5.3 Pemeriksaan Baut Komponen Pendukung
Pada Panel Surya

(Sumber: Maintenance PT ATW Solar)

E. Pemeriksaan area panel surya

Kegiatan pemeriksaan area panel surya lebih terfokuskan pada pemasangan panel surya secara *ground mounting*. Karena sistem pemasangan jenis ini masih dengan cara tradisional yaitu menggunakan jangkar tanah untuk menahan kaki penopang panel surya. Sehingga tidak dapat menghindari adanya tumbuhan yang dapat mengakibatkan *shading* pada area panel surya. Namun tidak menutup kemungkinan bahwa sistem pemasangan lainnya tidak mengakibatkan *shading* pada area panel surya.



Gambar 5.4 Pemasangan Jenis Ground Mount
(Sumber: pasangpanelsurya.com)

2. *Corrective Maintenance (CM)*

Corrective Maintenance (CM) atau perawatan perbaikan adalah kegiatan perawatan yang dilakukan ketika panel surya mengalami kerusakan sehingga tidak dapat bekerja secara maksimal. Salah satu contohnya yaitu *hot point* pada panel surya sehingga penggantian panel surya menjadi solusinya. Seperti halnya pergantian panel surya dibawah ini :



Gambar 5.5 Pergantian Panel Surya
(Sumber: Data Primer Diolah 2022)

Perlengkapan yang Digunakan:

1. Helm *safety*
2. Sarung Tangan
3. Sepatu *safety*
4. Masker

Alat dan Material yang Digunakan:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Kamera <i>thermal</i> | 6. Kunci L |
| 2. <i>Seaward</i> | 7. Obeng Set |
| 3. Kunci MC4 | 8. Panel surya <i>polycrystalline</i> 400Wp |
| 4. <i>Crimping</i> | 9. SPD 4 pcs |
| 5. Tang potong | 10. Kabel <i>ties</i> |

Langkah Kegiatan sebelum Penggantian Panel Surya:

1. Melakukan pengecekan kembali PV manakah yang mengalami *Hot Point* menggunakan kamera *thermal*. Jika terjadi perbedaan 10°C dengan PV yang lain maka PV tersebut mengalami *Hot Point* sehingga perlu diganti.
2. Mengisolasi panel *box* AC *Combiner* 1, inverter 1, dan memutuskan *fuse* pada panel *box* DC *Combiner* agar tidak ada tegangan yang mengalir.
3. Melakukan penggantian panel surya

Langkah Penggantian Panel Surya:

1. Melepaskan *mid clamp* dan *end clam* yang berfungsi sebagai penahan panel surya.
2. Melepaskan kabel yang terhubung dengan panel surya.
3. Melepaskan panel surya dan mengganti dengan yang baru.
4. Menyambungkan kembali kabel.
5. Memasang *mid clamp* dan *end clamp* seperti semula

Sewaktu-waktu panel surya dapat mengalami *troubleshooting* karena berbagai penyebab, di bawah ini terdapat cara menangani gangguan *troubleshooting*:

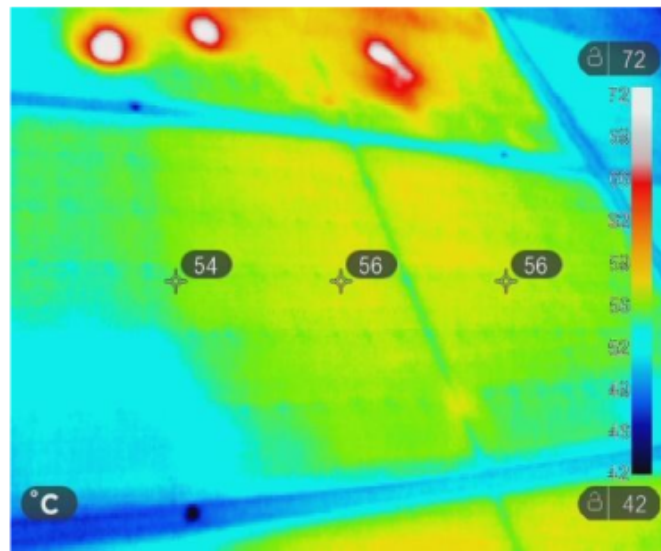
Table 5.1 Penanganan *Troubleshooting*

Gejala	Penyebab	Akibat	Tindakan
Tidak ada energi listrik	a. Sambungan kabel (MC4) antar panel surya tidak terhubung	Panel surya tidak menghasilkan energi listrik	b. Periksa sambungan kabel antar panel surya, jika ada yang terlepas perbaiki antar sambungan panel surya. Jika sambungan mengalami kerusakan maka lakukan penggantian dengan yang baru
	c. MCB pembatas arus panel surya trip/putus		d. Periksa MCB pembatas arus, jika trip/off maka kembalikan pada posisi awal (on). Apabila MCB mengalami kerusakan maka lakukan penggantian MCB dengan yang baru.
Arus yang dihasilkan panel surya rendah dan tingkat radiasi tinggi	e. Adanya bayangan yang menutupi Sebagian dasar panel surya	Penurunan arus output panel surya	f. Menghilangkan shading (bayangan) yang menutupi panel surya
	g. Terdapat debu yang menempel pada panel surya		h. Membersihkan area panel surya
	j. Beberapa panel surya mengalami kerusakan seperti terbakar		i. Mengganti panel surya dengan yang baru

3. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediktif adalah perawatan yang dilakukan untuk mengetahui terjadinya perubahan atau penurunan performa maupun kerusakan fisik pada panel surya. Perawatan ini biasanya menggunakan peralatan instrument. Contohnya adalah pemantauan suhu panel surya menggunakan kamera thermal.

Pemantauan panel surya menggunakan kamera thermal biasanya karena terjadi perbedaan performa dari panel surya yang lain maka perlu ditindak lanjuti dengan cara melakukan monitoring secara langsung menggunakan kamera thermal, seperti halnya dibawah ini :



Gambar 5.6 Pengecekan Suhu Panel Surya Menggunakan Kamera *Thermal*
(Sumber: data primer diolah 2022)

Alat yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan suhu komponen yaitu kamera thermal. Berikut cara memakai kamera thermal:

1. Menyalakan kamera thermal terlebih dahulu
2. Memastikan objek yang akan dicek menggunakan kamera thermal
3. Mengarahkan dan mengatur titik mana yang akan dilakukan pengecekan sehingga lebih fokus pada objek yang perlu diukur suhunya menggunakan kamera thermal
4. Setelah posisi sesuai seperti halnya penggunaan kamera pada umumnya dengan cara membidik objek menggunakan kamera thermal karena
5. Maka hasil suhu akan langsung tertera pada layar cara kerja kamera thermal yaitu mengubah cahaya inframerah menjadi sinyal listrik. Benda apa pun dapat memancarkan radiasi infra merah, lebih banyak radiasi inframerah dihasilkan maka objek tersebut menandakan lebih panas.

5.2. Alat Ukur Perawatan Panel Surya

Alat ukur merupakan alat yang digunakan untuk mengukur besaran suatu benda. Tujuan dilakukannya pengukuran untuk mengetahui bentuk atau kondisi fisik suatu benda. Beberapa alat ukur yang digunakan untuk perawatan panel surya, antara lain:

1. AVO Meter

AVOMeter/multimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur hambatan, tegangan dan arus listrik berupa AC (*Alternating Current*) dan DC (*Direct Current*). Terdapat 2 jenis AVO meter yaitu analog dan digital. AVOMeter analog ialah AVOMeter yang tampilan hasil pengukurannya menggunakan skala dan jarum berputar sedangkan AVOMeter digital adalah AVOMeter yang

tampilan hasil pengukurannya menggunakan penunjuk angka digital yang tampil pada layar display. Namun AVOMeter yang banyak digunakan dalam AVOMeter digital karena penggunaannya lebih mudah dari pada AVOMeter analog.



Gambar 5.7 AVOMeter Digital
(Sumber: Alatproyek.com)

Penggunaan AVOMeter/multitester ini pada perawatan panel surya untuk memeriksa keluaran tegangan maupun arus berupa DC (*Direct Current*) dengan selektor mengarah pada pengukuran VDC. Tidak hanya itu AVO meter dapat mengukur continuity atau koneksi antar panel surya.

2. Clamp-On Ammeter

Clamp-On Ammeter digunakan untuk mengukur arus langsung (DC) yang dihasilkan panel surya. Alat ini juga bisa digunakan untuk mengukur tegangan dan sirkuit amperage layaknya multitester. Cara penggunaan alat ini cukup mudah hanya menggunakan kabel disela-sela pengait.



Gambar 5.8 Clamp-On Ammeter
(Sumber: Alibaba.com)

3. *Angle Finder*

6 Pemasangan panel surya dengan sudut kemiringan yang optimal meningkatkan **daya** keluaran yang bergantung pada tingkat vear matahari. Penyesuaian sudut kemiringan panel surya bergantung pada lokasi pemasangan panel surya. Besaran sudut kemiringan maksimal sebesar 15° (garis lintang). Apabila panel surya diletakkan dengan kemiringan 0 (*horizontal*) mengakibatkan penumpukan debu yang berubah menjadi lumpur jika terkena air dan berpotensi terjadi shading sehingga mengurangi daya yang dihasilkan.



Gambar 5.9 *Angle Finder*
(Sumber: sunspower.com)

Untuk memeriksa efek sudut kemiringan panel surya pada keluaran daya, atur panel surya pada tiga sudut kemiringan dan ambil pembacaan tegangan. Atur panel surya pada 0 vertikal (*horizontal* datar) 45 cm (sudut ke tanah), dan 90 akhiran (vertikal, akhir panel surya menyentuh tanah).

4. Kamera Thermal

Kamera thermal berfungsi sebagai mendeteksi adanya tingkatan suhu berlebih pada panel surya yang dapat mengakibatkan kebakaran sehingga merusak panel surya. Cara penggunaan dari alat ini yaitu cukup arahkan kamera pada panel surya yang ingin diketahui seberapa besar suhunya.



Gambar 5.10 Kamera *Thermal*

5. *Tools set*

Tools set merupakan set perkakas yang dikemas dalam boks. 1 set perkakas dapat terdiri dari obeng plus (+), obeng minus (-), tang potong, tang kupas, tang cucut, tang *crimping*, kunci L, kunci ring pas, dan lain sebagainya. Penggunaan tools set pada perawatan panel surya untuk mengecek kondisi kekencangan baut dan berjaga jaga jika terjadi permasalahan yang serius.



Gambar 4.11 Tools Set
(Sumber: Amazon UK)

5.3. Kerusakan Pada Panel Surya

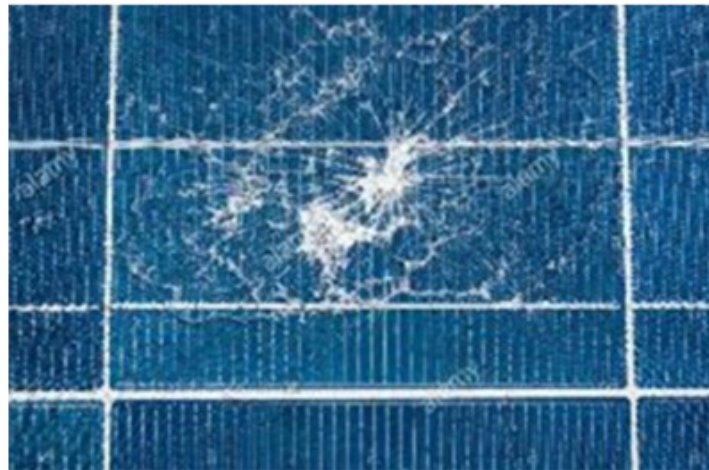
Panel surya terbuat dari bahan semi konduktor dengan lapisan luar berupa kaca sehingga rawan adanya kerusakan jika tidak diperlakukan dengan baik. Berikut kerusakan pada panel surya, yaitu:

5.2.1. Panel Surya Pecah Atau Retak

Panel surya menggunakan kaca sebagai lapisan atas yang berfungsi untuk melindungi sel-sel fotovoltaik yang ada dibawahnya. Kaca juga memiliki sifat kuat, tidak menyerap air, isolator serta tembus pandang sehingga tidak mengganggu sistem kerja panel surya. permukaan panel surya harus dipastikan tidak ada keretakan agar panel surya dapat bekerja secara optimal untuk menghasilkan energi listrik. Besarnya *output* panel surya tergantung pada banyaknya iradiasi yang dapat diserap oleh sel surya. Jika

permukaan panel surya pecah maka daya serapnya akan berkurang sehingga daya yang dihasilkan tidak maksimal. Adapun penyebab panel surya pecah, yaitu:

- a. Terkena goresan benda tajam
- b. Tertimpa pohon tumbang
- c. Naiknya suhu sehingga terjadi hotspot
- d. Terbentur dengan benda lainnya
- e. Struktur penopang yang buruk
- f. Keretakan akibat kesalahan pengemasan, pengiriman dan penyimpanan



Gambar 5.12 Panel Surya Pecah
(Sumber: Maintenance PT ATW Solar)

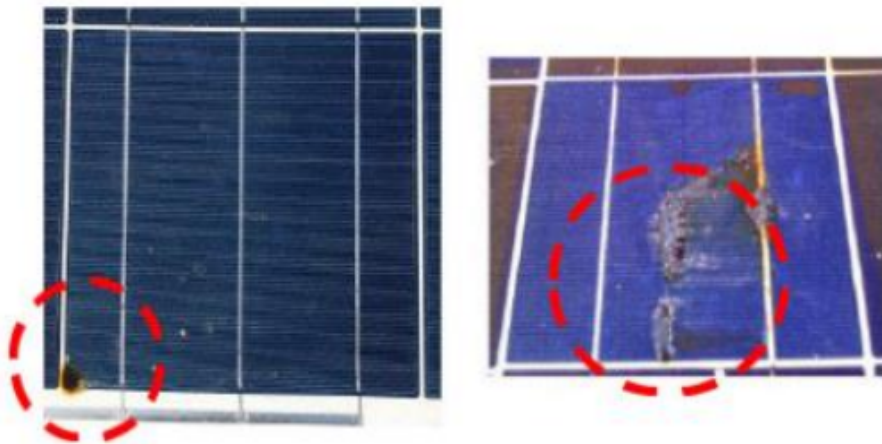
Panel surya dalam kondisi pecah tidak disarankan terhubung dengan panel surya yang lainnya. Karena oksigen dan air dapat masuk kedalam hingga terjadi kelembapan akibatnya menimbulkan korosi pada kabel dan arus pendek. Terdapat beberapa solusi agar panel surya terhindar dari keretakan, yaitu:

- 1) Pada saat cleaning maintenance pastikan tidak memberi tekanan terlalu besar

- 2) Tidak menginjak sisi-sisi panel surya
- 3) Hindari pemasangan panel surya di dekat pohon
- 4) Memastikan keamanan selama pengemasan dan peletakan panel surya selama proses pengiriman
- 5) Menyimpan panel surya dengan kemasan yang baik
- 6) Pemeriksaan rutin pada semua panel surya yang sudah terpasang untuk melihat adanya kemungkinan kerusakan
- 7) Segera mengganti panel surya dengan jenis yang sama jika keretakan sebagian besar dari permukaan panel surya

5.2.2. Hot spot

Hot spot adalah titik panas yang terjadi akibat sebagian area dari panel surya mengalami bayangan dan menjadi beban karena menghasilkan energi yang rendah dibanding dengan bagian yang lain. Berikut gambaran kerusakan akibat adanya hotspot pada panel surya.



Gambar 5.13 Panel Surya *Hotspot*
(Sumber: USAID)

5 Efek bayangan merupakan kemungkinan terhalangnya panel surya akibat dari bayangan suatu benda sehingga

mengakibatkan berkurangnya iradiasi sinar matahari yang dapat diterima oleh sel-sel pada panel surya.

Bayangan yang terjadi sering disebabkan oleh:

- 1) Awan yang lewat
- 2) Bangunan tinggi
- 3) Menara-menara tinggi
- 4) Pohon
- 5) Kotoran burung
- 6) Debu
- 7) Bayangan dari satu panel di sisi yang lain.



Gambar 5.14 Panel Surya Terkena Bayangan
(Sumber: pasangpanelsurya.com)

Panel surya mempunyai bypass diode tertanam di dalamnya untuk mengurangi efek merugikan dari shading. Pada kenyataannya, shading tidak dapat dicegah seluruhnya, khususnya selama proses matahari terbit atau terbenam dimana bayangan menjadi panjang. Karena produksi energi sistem lebih sedikit ketika pagi dan sore, sedikit shading secara umum dapat diterima. Maka dari itu pemasangan panel surya harus terhindar dari efek bayangan di sekitar. Seperti memperhatikan tempat pemasangan panel surya yang paling efisien sehingga dapat terhindar dari efek bayangan.

Efek negatif yang ditimbulkan, yaitu:

- 5 1) Berpengaruh pada sistem seri PV. Karena keluaran sel sebanding dengan jumlah radiasi, sel-sel dapat berperilaku berbeda dan dapat menciptakan masalah ketika di seri.
- 2) Mengganggu kemampuan produksi, sel-sel dengan arus keluaran lebih rendah akan mengurangi operasional arus seluruh rangkaian sel PV (string). Hal ini bisa lebih parah jika sel-sel benar tertutup maka dapat menghilangkan daya total sel-sel yg terpapar sinar.
- 3) Tercipta hotspot di beberapa titik. Rendahnya sel-sel mengantisipasi disipasi daya, sel-sel tersebut tersebut menghasilkan hotspot penyebab lainnya karena kenaikan suhu karena rendahnya kualitas sel-sel, penyolderan yg buruk antar sel-sel juga bisa menyebabkan itu.
- 4) Kehilangan daya. sel-sel yg memiliki nilai hambatan paralel (shunt resistance) yg terlalu rendah, hal inilah yg menyebabkan PV kehilangan daya listrik di sel

Hal-hal yang dilakukan untuk menghindari hotspot:

- 5 1) Identifikasi lokasi pemasangan PV yg benar pastikan tidak akan terkena shading effect. Desain yg benar jarak yg cukup aman dari efek shading.
- 2) Cek berkala keadaan PV atau deteksi dini dengan alat termografi untuk menghindarkan efek hotspot berpengaruh pada seluruh rangkaian PV.
- 3) Pasang dioda bypass. Kabar baiknya. Dioda ini kebanyakan sudah terpasang pada kotak hitam di belakang PV. Jika memang tidak ada maka bisa pasang

sendiri sesuaikan kondisi kemampuan PV tersebut. Pengaruh dari dioda bypass dipasang untuk menghindari adanya hot spot akibat dari kondisi dimana salah satu sel dalam satu panel surya ditutupi oleh bayangan dari benda sehingga tidak mendapatkan radiasi sinar matahari.

- 4) Dari hasil pengukuran, satu sel saja dari satu panel surya ditutup oleh bayangan akan berpengaruh terhadap penurunan daya keluaran sebesar 38,01 %. Ketika 12 sel dari satu panel surya ditutup oleh bayangan secara baris akan berpengaruh terhadap penurunan daya sebesar 37,6%. Sedangkan penutupan 6 sel secara kolom dari satu panel surya oleh bayangan akan mengurangi daya keluaran sebesar 99,6 %. Begitu juga dengan penutupan 36 sel secara kolom dari satu panel surya oleh bayangan juga akan mengurangi daya keluaran sebesar 99,89%.

5.2.3. Panel Surya Terbakar

Panel surya dirancang untuk menghasilkan arus listrik saat cahaya matahari menyinari panel surya. Ketika arus mengalir melalui string sel surya di dalam panel surya, resistansi dalam sel mengubah arus menjadi panas.

Penyebab terjadinya panel surya terbakar yaitu:

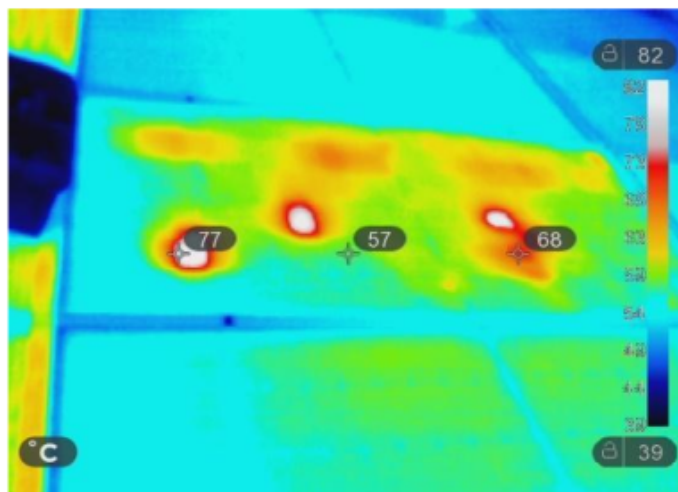
- 1) Karena salah produksi seperti halnya kecacatan pada desain ataupun retakan
- 2) Sambungan solder yang buruk, dan ketidaksesuaian,
- 3) Kesalahan desain dan pemasangan
- 4) Umur komponen sudah tua dan konektor sudah usang
- 5) Faktor alam

Beberapa hal tersebut menyebabkan resistensi yang lebih tinggi dan potensial menjadi titik panas dalam jangka panjang.



Gambar 5.15 Panel Surya Terbakar
(Sumber: ica solar)

Pada dasarnya panel surya memang dibuat untuk menyerap energi cahaya matahari, sehingga panel surya tidak akan mudah terbakar meski menghadapi suhu panas matahari yang tinggi. Efek jangka panjang dari titik panas dapat menyebabkan kebakaran jika dibiarkan.



Gambar 5.16 Perbedaan Suhu Antar Panel Surya
(Sumber: data primer diolah 2022)

5.2.4. MC4 Meleleh

MC4 adalah singkatan dari *Multi-Contact* dan 4 artinya pin kontak berdiameter 4 mm. Konektor MC4 memiliki interlock berlekuk, dapat saling terhubung dan untuk menghindari konektor lepas secara tidak sengaja. Konektor MC4 dibalut rumah bundar berbasis plastik dengan konduktor tunggal dalam konfigurasi pasangan pria/wanita (male/female). Komponen tersebut memiliki fungsi sebagai penghantar arus listrik dari panel ke dalam kabel. Dengan begitu, daya yang berhasil diubah oleh komponen konversi cahaya matahari ke energi listrik dapat dialirkan langsung ke kabel yang digunakan. Maka dari itu MC4 merupakan komponen penting dalam panel surya, sehingga jika MC4 pada panel surya leleh maka akan menghambat daya yang dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 5.17 MC4 meleleh pada panel surya
(Sumber: Data Primer diolah 2022)

Berikut beberapa penyebab MC4 leleh

- 1) Kualitas crimping MC4 yang kurang baik sehingga kabel kendor

- 2) Faktor produksi dari MC4 itu sendiri
- 3) Kesalahan dalam Pemasangan Kabel

Untuk menghindari MC4 meleleh dengan cara memperhatikan kualitas dari MC4 itu sendiri dan pastikan MC4 sudah terpasang dengan baik dan benar.

5.2.5. Junction Box Cacat

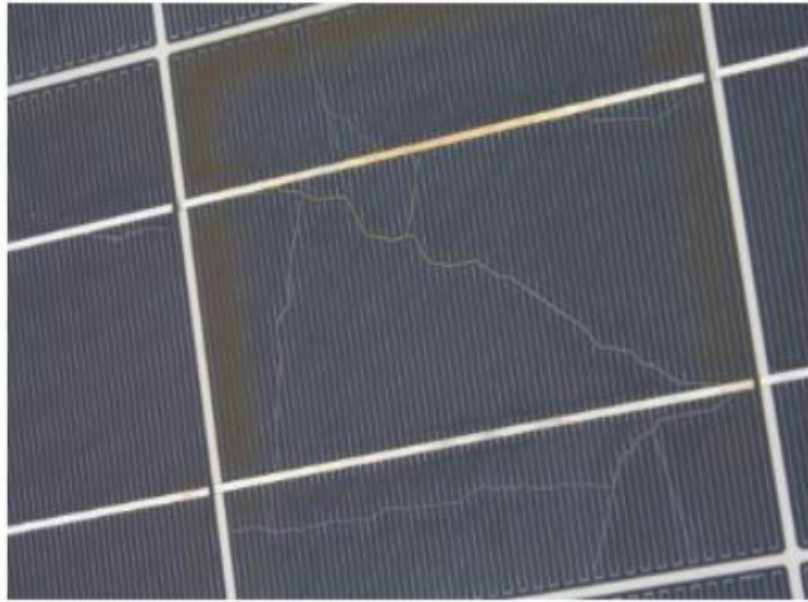
Junction box merupakan kotak kecil yang berada di punggung panel surya, berfungsi sebagai pelindung sambungan kabel *output* panel surya untuk mengalirkan listrik ke luar. Jika air atau debu merembes ke dalam penutup kotak sambungan, dioda pemintas di dalamnya dapat korsleting dan terbakar. Dioda atau konektor yang dibakar dapat menyebabkan panel surya dalam kondisi sirkuit terbuka dan berhenti mentransfer energi ke luar sama sekali. Panel surya kondisi seperti ini harus diganti dengan jenis panel surya yang sama.



Gambar 5.18 Sirkuit Junction Box Terbuka
(Sumber: ica solar)

5.2.6. Snail Track

Snail track adalah tanda yang mirip dengan jalur siput di permukaan sel surya pada panel surya. Dalam jangka panjang, jejak siput menyebabkan *microcrack* (keretakan mikro) pada sel surya dan membentuk *hotspot* di beberapa tempat.

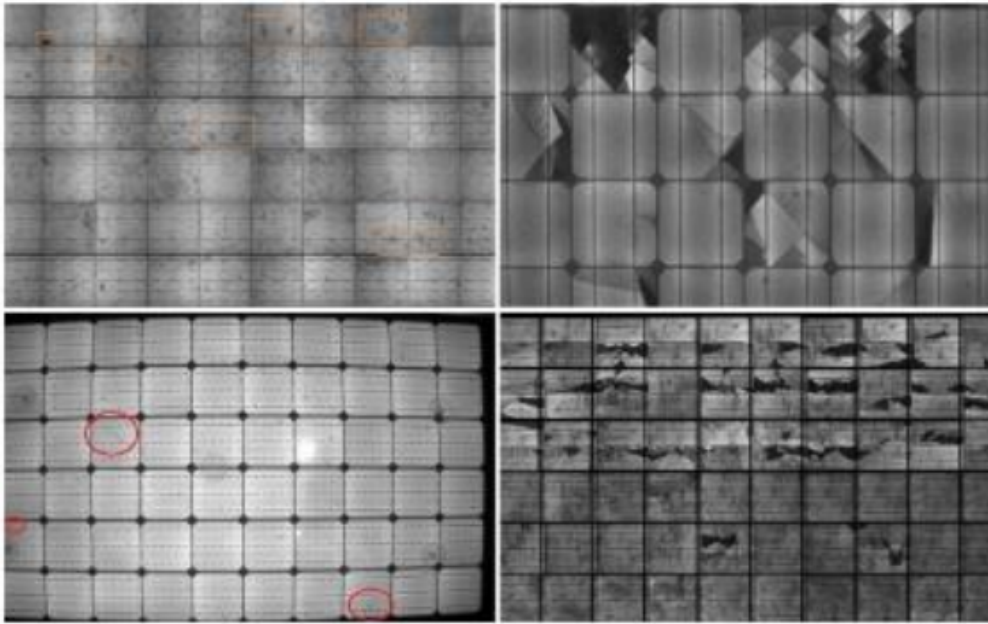


Gambar 4.19 *Snail Track*
(Sumber: ica solar)

Snail Track dapat terjadi ketika kita memasang panel surya terlalu dekat dengan atap, terutama pada atap yang menggunakan spandek baja ringan, yang dapat menyebabkan panas di atap menyebar ke panel surya yang mengalir, panel yang dipanaskan juga menjadi panas karena pantulan cahaya lalu panel akan *overheat* dan lama-lama munculah snail track. Oleh karena itu, sebaiknya panel surya tidak dipasang terlalu dekat dengan atap atau menyisakan jarak sekitar 30-50cm dari atap, bertujuan untuk sirkulasi udara agar PV tidak kepanasan dan memicu munculnya *snail track*.

5.2.7. Microcrack Pada Panel Surya

Kemajuan dalam pemrosesan semikonduktor telah menghasilkan sel surya ultra-tipis, artinya sangat rapuh dan mudah pecah saat terkena guncangan kuat. *Microcracks* pada modul surya adalah retakan mikroskopis yang hampir tidak terlihat pada sel surya.



Gambar 5.20 Sirkuit Junction Box Terbuka
(Sumber: ica solar)

Ketika *microcracks* terbentuk di panel surya, sel surya yang rusak mengalami kesulitan menghantarkan listrik, mengakibatkan keluaran daya rendah dan terjadi titik panas. Untuk menghindari *microcracks* harus dilakukan pengecekan secara terhadap panel dan memastikan apakah terjadi kesalahan saat produksi selain itu saat mengangkat panel surya diharuskan berhati-hati dengan menghindari benturan terhadap panel surya.

BAB 6

PEMASANGAN PADA SISTEM DC SEDERHANA

6.1. *Direct Current (DC)*

Gagasan menggunakan panel surya di rumah dengan meletakkannya di atap mungkin semakin banyak mendapat perhatian akhir-akhir ini, tetapi sebenarnya jika kita mau melihat lebih luas sebenarnya ada banyak aplikasi lain dari listrik panel surya yang sama bergunanya dan lebih mudah untuk dipraktekkan bagi pemula karena sederhananya proses yang perlu dilakukan terutama untuk kita yang akan bereksperimen. Sebagai contohnya adalah aplikasi pada panel surya untuk mengakomodir tegangan rendah dengan sistem DC (*Direct Current* / arus searah) yang relatif lebih sederhana dan serbaguna, sehingga membuatnya ideal untuk dipelajari bagi pemula yang akan memulai belajar dengan instalasi panel surya.

Sistem DC banyak digunakan pada komponen listrik yang lebih sederhana, seperti digunakan untuk menyalakan pompa kolam, mengisi daya baterai, dan sama praktisnya untuk sistem yang lebih besar yang dapat memberikan daya ke gudang, taman atau bengkel, atau bahkan rumah kaca bertenaga surya.

Sistem pemasangan pada sistem DC secara dasar harus terdiri dari modul surya, pengontrol muatan, baterai, dan kabel koneksi. Demi menaikkan kapasitas listrik, suatu sistem panel surya yang akan kita pasang mungkin menyertakan beberapa baterai, modul Photovoltaic (PV) tambahan yang lebih besar, dan komponen seperti saklar pemutus arus DC atau pemutus beban listrik. Tambahan-tambahan ini tentu saja tergantung pada ukuran dan fungsi sistem panel surya yang akan kita pasang.

Sistem DC dikatakan sistem sederhana dan aplikatif karena kemampuannya untuk dapat memasok daya secara langsung ke perangkat elektronik. Jika Kita perlu mencolokkan alat atau perangkat yang membutuhkan arus AC, maka untuk mengubah ke arus AC dari DC Kita hanya cukup menambahkan inverter AC yang sesuai dengan kebutuhan daya dari peralatan AC. Contoh sederhana adalah pada inverter pada mobil yang portabel atau unit inverter yang lebih besar yang dapat menangani beberapa ribu watt daya secara terus menerus.

Sebagian besar sistem DC adalah 12 volt, voltase yang sama digunakan oleh baterai mobil standar. Namun demikian pada aplikasinya ada sistem DC yang harus beroperasi pada tegangan 24 volt dan lebih tinggi. Tetapi untuk keperluan

pembelajaran awal maka sistem 12 volt menawarkan beberapa keuntungan terutama untuk proyek yang dapat kita buat secara otodidak. Keuntungan itu semisal, sistem 12 volt tidak memerlukan ground yang tentunya hal ini menyederhanakan instalasi. Berbeda dengan sistem yang berjalan pada voltase 24 volt dan atau yang lebih tinggi yang pada pengaplikasiannya harus di-ground dan biasanya memerlukan izin khusus kepada pihak yang berwenang karena potensi bahayanya. Alasan lainnya adalah bahwa tegangan 12 volt adalah tipe standar pada sistem DC, produk yang kompatibel dengan sistem 12 volt lebih umum digunakan daripada komponen yang dibuat untuk voltase lebih tinggi.

6.2. Dasar Pengisian Baterai

Selain modul surya yang menghasilkan listrik, inti dari sistem DC adalah baterai. Dari sinilah semua daya diambil. Kita tidak pernah bisa menggunakan listrik langsung dari modul panel surya. Daya listrik akan selalu berasal dari baterai, dan menjadi tugas modul panel surya adalah hanya mengisi ulang baterai. Kapasitas dari baterai menentukan berapa banyak listrik yang dapat kita gunakan sebelum baterai perlu diisi ulang. Untuk menambah kapasitas baterai, kita dapat menambahkan lebih banyak baterai ke dalam sistem atau menggunakan baterai dengan peringkat ampere-jam (Amp-jam) atau ampere hours (Ah) yang lebih tinggi.

Amp-jam adalah satuan ukuran standar untuk kapasitas baterai, dihitung dengan mengalikan arus discharge (dalam satuan amp atau ampere) dengan waktu pengosongan (dalam jam). Misalnya, baterai yang discharge habis pada 5 amps

selama 20 jam adalah dikatakan memiliki kapasitas baterai 100 amp-jam (Ah) yang didapat dari perkalian antara 5 amps x 20 h.

Perlu diingat bahwa saat ini teknologi baterai kebanyakan mensyaratkan pengosongan (discharge) baterai yang Kita gunakan tidak boleh hingga baterai habis 0 %. Semisal baterai dengan tipe lead-acid (Asam timbal), dimana baterai ini merupakan jenis baterai yang paling umum digunakan pada sistem panel surya, tidak boleh digunakan hingga tersisa kurang dari 20 % kapasitas baterainya. Bila kita terlalu sering menguras baterai hingga dibawah 20% maka akan mengakibatkan turunnya lifecycle dari baterai itu.

Oleh karena alasan itu, baterai tipe lead-acid dengan kapasitas 100 Ah idealnya hanya boleh digunakan paling banyak dengan kapasitas daya sebesar 80 Ah yang dapat digunakan. Bahkan ada beberapa produsen baterai yang mematok nilai masa pakai baterai maksimum yang disarankan, habis tidak lebih dari 50 persen.

Konsekuensi dari syarat ini adalah bila kita membuat suatu sistem panel surya maka kita akan membutuhkan sistem dengan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan nyata Kita. Pengosongan hingga 80 persen dimungkinkan untuk sistem yang lebih kecil, tetapi baterainya tidak akan bertahan lama selama pemakaian dan hanya mampu bertahan sekitar 50 persen dari siklus hidup yang dituliskan dalam spesifikasi.

Contoh:

Sebagai contoh, katakanlah Kita membutuhkan daya 200 amp-jam per hari. Jika Kita berencana untuk melepaskan hingga 80 persen, tingkatkan total kapasitas baterai Kita dengan faktor

koreksi sebesar minimal 120% atau 1,2, namun alangkah lebih baik jika Kita menggunakan faktor koreksi sebesar 125% atau 1,25. Sehingga kapasitas yang Kita butuhkan adalah $200 \text{ Ah} \times 1,25 = 250 \text{ Ah}$ (kapasitas total diperlukan). Namun jika Kita berencana untuk melepaskan daya baterai tidak lebih dari 50 persen dari kapasitas, maka tingkatkan kapasitas dengan mengalikan menggunakan faktor koreksi menjadi 200% atau 2, sehingga menjadi $200 \text{ Ah} \times 2 = 400 \text{ Ah}$

6.3. Desain Sistem

Dalam merancang sistem panel surya yang akan digunakan pada tegangan daya 12 volt, dimulai dengan menentukan kapasitas baterai yang Kita butuhkan dan kemudian membangun sistem yang dapat mengisi baterai dalam jumlah yang dapat ditampung. Jika Kita menggunakan daya setiap hari, maka susunan modul surya atau solar panel rangkaian harus mampu mengisi penuh baterai dalam satu hari, yang tentu saja lama jam untuk 1 hari dibuat berdasarkan lama jam matahari bersinar tersedia di lokasi Kita.

Namun jika panel surya hanya Kita manfaatkan untuk hanya sesekali mengisi daya baterai, maka Kita dapat memilih menggunakan modul yang lebih kecil. Konsekuensinya adalah waktu pengisian baterai yang lama dan tentunya hal ini bukan masalah karena Kita tidak membutuhkan baterai yang selalu terisi penuh setiap harinya. Kesimpulannya adalah dengan modul yang kecil, maka dibutuhkan waktu yang lebih banyak untuk mengisi ulang baterai di antara setiap interval penggunaannya. Berikut adalah elemen utama yang perlu Kita dipertimbangkan dalam desain sistem panel

surya, elemen itu adalah modul surya (atau panel surya), pengontrol pengisian, dan baterai.

1. Modul:

Hal pertama yang perlu Kita pertimbangkan saat membuat suatu sistem panel surya adalah Kita harus terlebih dahulu menentukan output modul berdasarkan kapasitas baterai dan waktu yang diperlukan untuk mengisi ulang baterai. Sederhananya, output yang lebih besar, itu berarti Kita akan dapat mengisi ulang dengan waktu lebih cepat. Pada desain sistem panel surya Kita dapat menggunakan satu atau lebih modul panel surya. Jika memang kebutuhan Kita banyak, maka modul panel surya dapat disambungkan secara seri atau paralel tergantung pada konfigurasi.

2. Pengontrol arus pengecasan:

Pengontrol arus pengecasan dapat dibuat dengan sederhana dengan memanfaatkan suatu perangkat pulsa teknologi modulasi lebar atau *Pulsed Width Modulator* (PWM) yang terbukti dapat bekerja dengan baik untuk sebagian besar sistem panel surya. Dengan PWM, kinerja pengisian daya pada baterai akan dibatasi oleh kemampuan tegangan charge dari baterai yang Kita gunakan. Hal ini perlu menjadi perhatian karena dengan tidak seragamnya intensitas cahaya ataupun panas matahari yang menyinari panel surya maka akan terjadi fluktuasi tegangan charge yang dihasilkan modul sepanjang siklus pengisian.

Semisal saat tegangan charge baterai yang diperbolehkan oleh spesifikasi pabrik pembuat baterai adalah tergolong rendah katakanlah 11V, maka PWM atau pengontrol hanya

akan memperbolehkan sistem panel surya untuk mengecaskan 11V dari modul surya, meskipun bisa saja pada saat itu modul nyatanya menghasilkan lebih banyak energi karena melimpahnya cahaya atau panas yang menerpa modul. Idealnya karena Kita menggunakan baterai dengan tegangan 12V maka modul *output* yang dikontrol oleh PWM harus dibatasi paling besar sebesar 12V, jadi jika Kita akan membuat untuk tegangan lebih besar maka Kita membutuhkan banyak modul yang harus dirangkai secara paralel.

3. Pengontrol pengecasan.

Teknologi pelacakan titik daya maksimum atau yang dalam bahasa Inggris dikenal sebagai *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah perangkat elektronik pada sistem panel surya untuk meregulasi arus searah DC yang akan diisi ke baterai, sekaligus juga meregulasi arus yang diambil dari baterai oleh suatu beban. Solar charge controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. MPPT mampu menangani tegangan yang tinggi mencapai 150V sampai dengan 600V. Dengan pemasangan MPPT dimungkinkan untuk menggunakan tenaga surya yang tersedia secara maksimal dan aman. Pada pemasangan MPPT, beberapa modul bisa disusun secara seri untuk meningkatkan tegangan output. Tiga aturan untuk memilih pengontrol muatan MPPT adalah sebagai berikut:

- a. Sesuaikan voltase pengontrol muatan dengan tegangan baterai; semua sistem 12V menggunakan pengontrol 12V.

- b. Sesuaikan tegangan pada pengontrol input pengecasan agar sama dengan tegangan dari susunan modul panel surya yang digunakan.
- c. Pilih pengontrol berbasis dua tahap atau tiga tahap bergantung pada penggunaannya.

Tiga tahap pengisian memiliki keuntungan dari segi menjaga keawetan baterai karena pengisian 3 tahap meliputi:

1. *Bulk* (pengisian mengisi baterai dari 0 hingga 90 persen menggunakan arus yang besar);
2. *Absorption* (pengisian mengisi baterai dari 90 sampai 100 persen) menggunakan arus yang relatif sudah rendah; dan
3. *Float* (menjaga baterai tetap 100 persen dan menghentikan proses pengecasan bila perlu).

Berbeda dengan pengontrol dua tahap yang hanya memiliki 2 tahapan pengisian yaitu:

1. *Bulk* (pengisian mengisi baterai dari 0 hingga 90 persen menggunakan arus yang besar);
2. *Absorption* (pengisian mengisi baterai dari 90 sampai 100 persen) menggunakan arus yang relatif sudah rendah.

4. Baterai:

Berbagai jenis baterai dapat digunakan untuk sistem 12 volt, termasuk baterai 2V, 6V, dan 12V. Seperti modul panel surya, baterai dapat dihubungkan secara seri atau paralel menyesuaikan apakah Kita menginginkan menaikkan voltase atau arus listriknya.

6.4. Pengkabelan dengan Rangkaian Seri atau Paralel

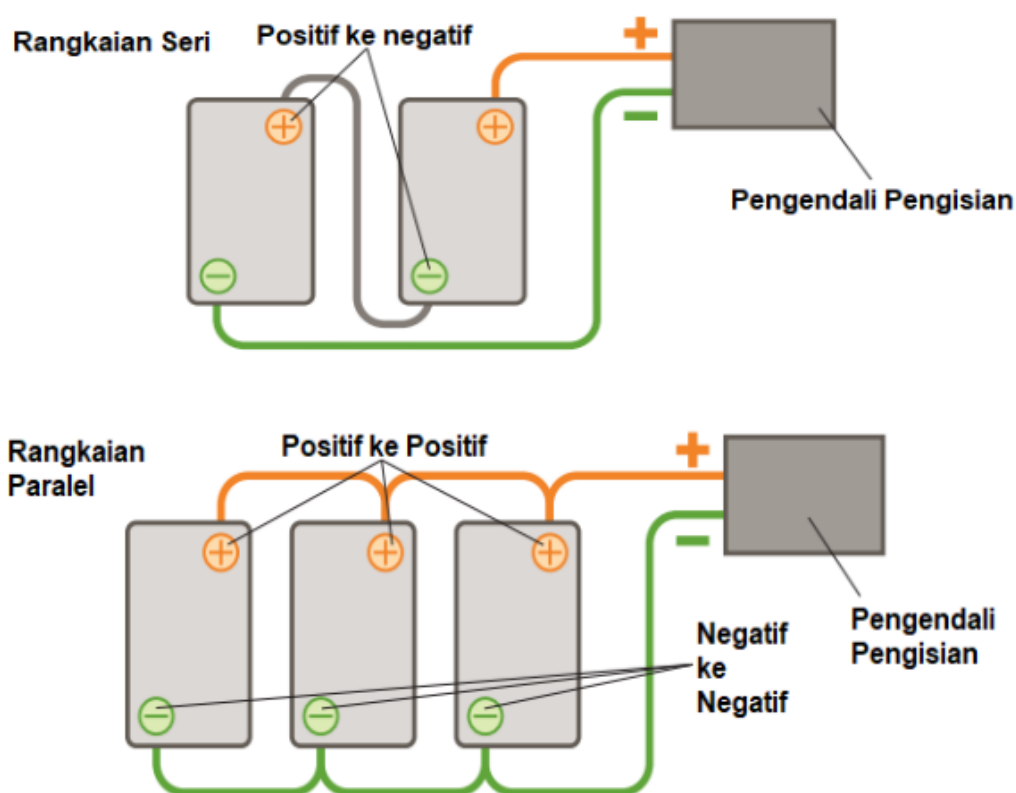
Rangkaian Seri dan paralel adalah dua konfigurasi kabel dasar yang digunakan dalam banyak aplikasi kelistrikan. Masing-masing memiliki keuntungan dan kerugian tergantung pada aplikasi. Dalam sistem panel surya 12 volt, modul panel surya dapat dihubungkan seri atau paralel, bahkan demikian pula dengan baterai yang dapat juga dihubungkan secara seri, paralel, atau kombinasi keduanya. Hal yang penting yang perlu diingat adalah bahwa dengan pengkabelan seri, tegangan meningkat namun arus tetap sama. Dengan pengkabelan paralel, ampere meningkat namun tegangan tetap sama.

1. Pengkabelan baterai rangkaian seri:

Positif baterai pertama terhubung ke pengontrol muatan, dan negatif terhubung ke positif baterai berikutnya. Pola negatif ke positif ini berulang hingga baterai terakhir di seri; negatifnya terhubung ke pengontrol muatan. Itu tegangan meningkat dengan masing-masing baterai dalam rangkaian, sedangkan total amp-jam (atau keluaran arus listrik) tetap sama.

2. Pengkabelan baterai rangkaian paralel:

Positif digabungkan ke positif dan negatif ke negatif. Positif dan negatif terakhir dalam grup terhubung ke pengontrol muatan yang berfungsi sebagai pengendali pengisian. Pada rangkaian ini tegangan tetap konstan, sementara amp-jam (atau output amp) akan bernilai sama dengan jumlah dari masing-masing unit.



CATATAN: Tidak disarankan untuk menghubungkan lebih dari tiga baterai secara paralel, karena memungkinkan salah satu baterai menerima pengisian secara berlebihan atau bahkan kurang selama pengisiannya, yang akhirnya dapat memperpendek daya tahan baterai.

3. Pengkabelan baterai Kombinasi:

Metode ini digunakan untuk meningkatkan tegangan sekaligus juga amp-jam dari beberapa baterai yang berada di bawah 12 volt.

Selanjutnya kita akan membahas mengenai sebuah rangkaian yang dapat menaikkan tegangan dari modul panel surya. Secara umum rangkaian ini menggunakan pengkabelan dengan rangkaian seri. Dengan rangkaian seri dimungkinkan bahwa Kita dapat meningkatkan tegangan output dari

rangkaian modul surya. Dengan menghasilkan tegangan pengecasan yang lebih tinggi, maka akan mengurangi efek penurunan tegangan yang berimbas pada kehilangan daya listrik yang dapat membahayakan perangkat elektronik.

Sebuah modul rangkaian panel surya yang menghasilkan 12 volt membutuhkan kabel dengan diameter relatif besar dan harus dipasang sedekat mungkin dengan baterai. Hal ini perlu dilakukan untuk meminimalkan efek *drop* tegangan. Rangkaian pada tegangan yang lebih tinggi dapat menggunakan kabel yang lebih kecil dan dapat dipasang lebih jauh dari baterai karena kecilnya potensi kehilangan daya cukup besar. Jadi penggunaan rangkaian seri, penggunaan ukuran kabel yang tepat, serta penentuan lokasi baterai dapat meningkatkan tegangan yang dihasilkan dari rangkaian modul panel surya Kita.

6.5. Menghitung Kebutuhan Daya

Daya baterai biasanya dinilai dalam amp-jam, namun seringkali beberapa orang akan lebih mudah menghitung daya dalam satuan menggunakan watt-jam atau watt-hours (Wh), terutama saat menggunakan rangkaian dalam tegangan 12 volt. Untuk mengonversi amp-jam menjadi watt-jam, sebenarnya sangat mudah, Kita cukup mengalikan nilai amp-jam dengan 12 (untuk 12 volt). Contohnya adalah Baterai 100 Ah dengan kapasitas maksimum 80 Ah (faktor keamanan hanya menyarankan kapasitas pengisian sebesar 80 persen dari kapasitas maksimal) dapat menghasilkan 960 watt jam pada setiap siklus discharging:

$$80 \text{ Ah} \times 12 \text{ volt} = 960 \text{ Wh atau } 0,96 \text{ kWh}$$

Untuk memperkirakan kebutuhan kapasitas baterai, jumlahkan dulu kebutuhan daya berdasarkan penggunaan yang direncanakan dalam watt-jam (Wh). Misalnya, jika Kita menginginkan sistem DC Kita menyalakan empat lampu dengan daya 15 watt selama 4 jam serta dua kipas dengan daya masing-masing 60 watt, maka kebutuhan daya Kita adalah didapat dengan menjumlahkan total watt dan waktu penggunaan per hari:

$$\text{Lampu: } 60 \text{ watt} \times 4 \text{ jam per hari} = 240 \text{ Wh}$$

$$\text{Kipas: } 120 \text{ watt} \times 8 \text{ jam per hari} = 960 \text{ Wh}$$

$$\text{Total Kebutuhan Kita adalah : } 240 \text{ Wh} + 960 \text{ Wh} = 1200 \text{ Wh}$$

Langkah selanjutnya adalah kita membagi watt-jam dengan voltase baterai untuk menemukan kebutuhan nyata dari kapasitas arus maksimum dalam amp-jam:

$$1.200 \text{ Wh} \div 12 \text{ volt} = 100 \text{ Ah}$$

Kemudian, perhitungkan tingkat pelepasan yang diijinkan maksimal hanya sebesar 80 persen sampai dengan 50 persen untuk menemukan nilai terkoreksi dari kapasitas arus maksimum dalam Ah yang diperlukan untuk menghasilkan 100 Ah dari energi yang dapat digunakan:

$$100 \text{ Ah} \times 1,20 = 120 \text{ Ah (kapasitas discharge 80 persen)}$$

atau

$$100 \text{ Ahh} \times 2 = 200 \text{ Ah (kapasitas discharge 50 persen)}$$

Perhitungan diatas adalah dengan asumsi Kita menggunakan perangkat yang dapat beroperasi menggunakan arus searah DC. Jika Kita ingin menyalakan perangkat yang bekerja pada arus bolak-balik AC, maka dalam perhitungan kebutuhan dayanya Kita perlu menambahkan sekitar 15 persen untuk mengkompensasi dampak kerugian akibat efisiensi dari inverter. Hal ini karena jika anda menggunakan inverter untuk mengkonversi arus DC menjadi arus AC pada sistem kelistrikan, adalah mustahil untuk mendapatkan efisiensi 100%.

Untuk menghitung kehilangan yang terjadi akibat konversi dimaksud maka kita perlu membagi Watt hours dengan nilai efisiensi yang kita perhitungkan. Misal kita memiliki perangkat dengan spesifikasi daya 60-watt pada arus AC yang menyala 8 jam per hari dan kita menyalakannya selama 2 hari maka konsumsi daya nya adalah 960 Wh.

$$60\text{-Watt} \times 8 \text{ Jam} \times 2 = 960 \text{ Wh}$$

Energi total yang harus kita sediakan adalah 9

$$960 / 85\% = 1.116 \text{ Wh}$$

Nilai diatas adalah konsumsi daya minimal yang harus kita antisipasi pada perangkat kelistrikan kita.

6.5. Menentukan Modul Daya

Saat kita selesai menentukan berapa besar konsumsi energi listrik yang kita butuhkan, dalam watt hours atau amp hours pada kapasitas baterai, maka kita selanjutnya dapat dengan mudah menentukan daya modul yang tepat untuk

digunakan mengisi atau men-charge baterai. Namun ada 3 faktor yang perlu anda pertimbangkan sebelum melakukannya, yaitu:

1. Type Charge controller: MMPPT controller adalah perangkat pengontrol pengisian yang kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan PWM controllers.
2. Lama penyinaran sinar matahari: Pemasangan panel surya perlu memperhitungkan berapa lama biasanya matahari bersinar pada daerah yang akan dipasang panel surya.
3. Faktor penurunan daya: Daya yang dihasilkan oleh modul yang kita gunakan biasanya akan berkurang sebesar 10% karena luaran yang lebih rendah pada suhu tinggi.
4. Efisiensi baterai: Baterai timbal-asam memerlukan tambahan 25 persen energi input untuk mengisi ulang sepenuhnya. Misalnya, jika Anda menggunakan energi listrik hingga 100 watt-jam dari sebuah baterai, maka Anda perlu mengisi ulang energi dengan nilai setara 125 watt-jam pada pengisian berikutnya untuk mendapatkannya kembali ke kapasitas semula.

Berikut adalah contoh perhitungan dengan asumsi kita menggunakan 1.200 Wh dari daya baterai per hari; menggunakan standar modul panel surya dengan daya masing-masing 140 W; dan lingkungan pemasangan tersinari sinar matahari tanpa terinterupsi selama 5 jam per hari. Maka jumlah modul yang anda butuhkan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 1.200 \text{ Wh} \times 1.25 \text{ (Efisiensi baterai)} &= 1.500 \text{ Wh} \\ 1.500 \text{ Wh} / 5 \text{ jam (lama penyinaran matahari)} &= 300 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan controller daya tipe PWM yang mengatur daya pengecasan maksimal 100 W dari 140 W spesifikasi, maka jumlah modul yang anda butuhkan adalah

$$300 \text{ W} / 100 \text{ W} = 3 \text{ modul panel surya}$$

Namun bila menggunakan controller daya tipe MPPT yang secara khusus dibuat agar mampu mengatur daya pengecasan mendekati maksimal 140 W spesifikasi, maka jumlah modul yang anda butuhkan adalah hanya

$$300 \text{ W} / 140 \text{ W} = 2 \text{ modul}$$

6.5. Memilih Modul yang Tepat

Kita dapat menggunakan berbagai konfigurasi dan watt modul yang beragam untuk sistem 12 volt yang akan dipasang, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah. Perlu diingat bahwa tidak ada satupun desain terbaik yang mampu memenuhi semua keinginan untuk setiap situasi. Namun demikian untuk memilih modul yang tepat ada salah satu metode yang mudah dan umum untuk digunakan, yaitu dengan terlebih dahulu memilih modul sesuai dengan jumlah selnya. Untuk mempermudah pemilihan jenis modul, Anda disarankan untuk memilih modul dengan 36 cell dibanding dengan cell modul jumlah lain. Hal ini berdasarkan fakta bahwa modul 36 cell adalah modul dengan jumlah yang optimal untuk mengisi baterai 12 volt; Alasannya adalah modul dengan 36 sel menghasilkan bisa menghasilkan output 18 volt seperti perhitungan berikut:

$$36 \text{ sel} \times 0,5 \text{ volt per cell} = 18 \text{ volt (Vmp)}.$$

Ingat bahwa V_{mp} adalah tegangan maksimum secara teoritis, dan kenyataannya output tegangan aktual lebih rendah. Bahkan nilai tegangan ini akan menjadi lebih turun menjadi berkisar 15 Volt terutama jika pada kondisi terlalu panas.

Kita mengetahui bahwa baterai dengan tegangan 12 Volt memerlukan tegangan charge yang lebih besar. Disyaratkan tegangan pengisiannya adalah 14.7 Volt. Sehingga dengan hanya menggunakan tegangan charge 15 Volt yang mampu disuplai oleh modul 36 cell, kita masih mendapatkan tegangan charge yang dibutuhkan untuk melakukan pengecasan baterai 12 Volt. Metode ini adalah metode yang disederhanakan untuk memilih tipe modul yang akan kita gunakan.

Perlu diingat bahwa penggunaan modul ini hanya untuk satu baterai. Misalnya, jika Anda menggunakan baterai 50 Ah, maka dibutuhkan satu modul 36 cell. Bila digunakan pada dua baterai 50 Ah (disambungkan secara paralel dengan total 100 Ah) maka dibutuhkan dua modul 36-sel (secara paralel). Bila tiga baterai 50 Ah (paralel 150 Ah) maka dibutuhkan tiga baterai 36-sel modul (secara paralel).

Konfigurasi sederhana ini telah dibuktikan mampu bekerja dengan baik pada system dengan satu sampai dengan tiga baterai. Dikarenakan baterai disusun secara paralel adalah tidak disarankan untuk menggunakan lebih dari tiga baterai dikarenakan potensinya untuk terjadi kegagalan charge/discharge.

12 Volt system			
Berikut adalah beberapa contoh spesifikasi desain untuk kebutuhan energi harian yang berbeda. Nilai yang tercantum pada tabel ini adalah nilai maksimal yang bisa didapatkan dengan kondisi matahari bersinar tanpa awan dan paparan selama 1 hari penuh.			
Energi yang digunakan per hari (Watt-hours)	Kapasitas baterai 12 V (Amp-hours)	Solar array (Watts)	Jumlah dari panel surya yang harus disusun secara paralel (12 V – 18 VMP)
200 Wh	21 Ah	55	Satu modul 60 W
400 Wh	42 Ah	110	Satu modul 120 W atau 2 Modul 60 W
600 Wh	63 Ah	165	Dua modul 90 W
1200 Wh	125 Ah	330	Tiga modul 120 W
1500 Wh	156 Ah	413	Empat modul 100 W
2000 Wh	208 Ah	550	Empat modul 140 W
2500 Wh	260 Ah	688	Lima modul 140 W
3000 Wh	313 Ah	825	Enam modul 140 W

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Supriyadi, M. K. K. K. (n.d.). Body Harness: Jenis, Fungsi, Cara Memakai dan Inspeksi. In <https://katigaku.top/2020/09/08/body-harness/>. 2020.
- Daryus, A. (n.d.). Teknik Mesin-Fakultas Teknik Universitas Darma Persada Jakarta 2019 Manajemen Perawatan Mesin.
- Ju Su Xin material co., ltd. (n.d.). MC4 connector protection, MC4 connector protection sleeve, MC4 heat shrinkable sleeve. In https://en.dwh.com.tw/article_detail/136/.htm. 2020.
- Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS ATAP DI INDONESIA final. (n.d.).
- Pasangpanelsurya.com. (n.d.-a). Jarak Terbaik Antar Panel Surya dan Cara Menghindari Bayangan. In <https://pasangpanelsurya.com/jarak-terbaik-panel-surya-menghindari-bayangan/>. 2022.

- Pasangpanelsurya.com. (n.d.-b). PLTS Grounding: Pasang Panel Surya di Atas Tanah. In <https://pasangpanelsurya.com/pasang-panel-surya-di-atas-tanah/>. 2022.
- Tecs Indonesia. (n.d.). Fungsi Helm Safety sebagai Alat Keselamatan Kerja. In <http://tecsindonesia.co.id/in/index.php/article/85-fungsi-helm-safety-sebagai-alat-keselamatan-kerja>.
- 5
Temonsoejadi. (n.d.). Apa itu hotspot PV, Hotspot pada panel surya dan pengaruh buruknya seberapa mengerikan? In <https://temonsoejadi.id/2020/05/15/hotspot-pada-panel-surya-dan-pengaruhnya/>. 2020.

BIOGRAFI PENULIS



Dr. Bayu Rudiyanto ST, M.Si. Menyelesaikan pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan pascasarjana S2 dan S3 diselesaikan di Institut Pertanian Bogor pada jurusan Ilmu Keteknikan Pertanian. Tahun 2014-2018 diberikan kepercayaan mengemban tugas sebagai Ketua jurusan Teknik,

Politeknik Negeri Jember. Saat ini tercatat sebagai staf pengajar di program studi Teknik Energi Terbarukan. Selain mengajar, aktif dalam menulis artikel ilmiah, sekaligus menjadi pengelola jurnal Nasional dan Internasional. Saat ini tercatat sebagai Reviewer Editor di Frontier in Thermal Engineering. Beberapa tulisan yang berkaitan dengan Surya diantara adalah *The effect of variations in reflector material on the performance of a solar-powered parabolic trough collector*, Analisis Efisiensi Trickle Solar Water Heater Tipe Profil Datar Dan Segitiga, Analisis Perbandingan Efisiensi Energi Pada Solar

Water Heater Tipe Trickle dan Tipe Spiral. Diluar aktivitas menulis, penulis tercatat sebagai Reviewer Nasional DRPM di bidang penelitian. Selain itu penulis juga tercatat sebagai asesor kompetensi BNSP untuk skema Supervisor Pembangunan dan Pemasangan PLTS dan asesor kompetensi ESDM skema Pembangkitan.



Risse Entikaria Rachmanita, S.Pd., M.Si. Sarjana Pendidikan Fisika telah ditempuh di Universitas Negeri Malang dan Magister Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sejak 2018 menjadi di Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember. Saat ini menjabat sebagai Kepala Laboratorium Workshop Energi dan Mekanik sejak 2020. Pada tahun 2019 mengikuti kegiatan Retooling Dosen Vokasi bidang *Solar Cell Engineering* di Koreatech. Selain menjalankan tridharma pendidikan tinggi, terlibat aktif dalam menulis artikel ilmiah dan pengelola jurnal ilmiah. Selanjutnya, menjalankan amanah sebagai reviewer nasional vokasi kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) sejak tahun 2021. Selain itu, aktif dalam membimbing kegiatan PKM sejak tahun 2020 dan berhasil mengantarkan tim PKM hingga ke PIMNAS sejak 2020. Pada tahun 2021 tim PKM PM berhasil meraih Medali Emas kategori Poster dengan tema Bank Energi Surya. Pada tahun 2021, berhasil membimbing tim dalam PWMV dengan tema *Smart Machine*

Grass berbasis *solar cell*. Pada tahun 2022 berhasil mengantarkan 2 tim dalam PIMNAS yaitu bidang PKM PM dan PKM PI dengan tema *Ventury Fine Bubble Portable Buoy* berbasis *Solar Cell* dan *Solar Power Plant*.



Azamataufiq Budiprasojo, S.T., M.T., Penulis buku ini lahir di Jember, 11 Agustus 1984. Setelah menamatkan pendidikan menengah atas di SMU Negeri 1 Yogyakarta, penulis melanjutkan menempuh program sarjana dan magister di Fakultas

Teknik Universitas Brawijaya Program studi Teknik Mesin dengan konsentrasi bidang rekayasa konversi energi. Sebelum menjadi tenaga pengajar di jurusan teknik penulis merupakan praktisi bidang desain khususnya konstruksi yang telah terlibat dalam beberapa proyek rekayasa bidang teknik baik sektor swasta maupun nasional. Saat ini penulis mengabdikan dirinya sebagai tenaga pengajar di Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember. Beberapa buku yang telah dihasilkan diantaranya adalah Buku Buat Sendiri Biosolar, Buku Ultraviolet Prinsip Dan Penerapan, Buku Pengukuran Teknik Menggunakan Arduino, Buku Menguasai Dasar Dasar CAD CAM.

DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA

ORIGINALITY REPORT

15%
SIMILARITY INDEX

15%
INTERNET SOURCES

0%
PUBLICATIONS

4%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	id.souzvacru.com	2%
Internet Source		

2	www.kompasiana.com	2%
Internet Source		

3	ojs.jurnaltechne.org	2%
Internet Source		

4	toptenid.com	2%
Internet Source		

5	temonsoejadi.id	1%
Internet Source		

6	repository.umy.ac.id	1%
Internet Source		

7	media.neliti.com	1%
Internet Source		

8	repository.yudharta.ac.id	1%
Internet Source		

9	www.gesainstech.com	1%
Internet Source		

10	repository.umsu.ac.id	1%
Internet Source		

11	m.icasolar.com	1%
Internet Source		

12	runsystem.id	1%
Internet Source		

Exclude quotes	On	Exclude matches	< 1%
Exclude bibliography	On		