

SOLAR CELL

LABORATORIUM PLTS UNIMA TONDANO
KAPASITAS 356.4 KWP
DI BANGUN ATAS KERJASAMA



Jemmy Charles Kewas, S.T., M.T.

SOLAR CELL

**Penulis:
Jemmy Charles Kewas**



. - M A N A D O - .

Anggota IKAPI

Jemmy Charles Kewas

Solar Cell

Manado, Penerbit Major, 2023

51 hlm; 15 x 21 cm

ISBN: 978-623-5692-35-7

Editor : Regina Rosita Butarbutar,
Hendro Maxwell Sumual,
I. P. Tamba

Desain Sampul dan Tata Letak : Dereyez Printing

PENERBIT : **MAJOR**

• Redaksi:

PENERBIT MAJOR

Jl. A. Mononutu – Paslaten, Kec. Kauditan

Kab. Minahasa Utara – Sulawesi Utara, Kode Pos: 95372

HP/WA: 0853-4211-7958

Email: penerbit.major@yahoo.com

• Terbit : Januari 2023

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Hak Cipta pada Penulis/Pengarang

Hak Penerbitan pada CV. MAJOR, Minahasa Utara (PENERBIT MAJOR)

Dicetak Oleh DEREYEZ PRINTING

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotokopi, tanpa izin sah dari penerbit. (Undang-Undang Hak Cipta Nomor 19 Tahun 2002 dan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2017 Tentang Sistem Perbukuan)

KATA PENGANTAR

Kebutuhan energi akan selalu meningkat dengan pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi suatu negara, dan energi yang banyak digunakan umumnya masih menggunakan energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Sayangnya pemanfaatan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil menyebabkan berbagai masalah negatif terhadap kesehatan dan lingkungan. Oleh karenanya untuk mendukung perkembangan ekonomi yang berkelanjutan maka harus mencari energi alternatif yang ramah lingkungan yang berasal energi yang bisa terbarukan. Energi dari matahari adalah salah satu alternatif yang sangat menjanjikan untuk dikembangkan lebih lanjut guna mendukung pertumbuhan ekonomi hijau.

Indonesia terletak di negara katulistiwa dimana sepanjang tahun intensitas cahaya matahari sangat tinggi, sehingga sangat cocok dikembangkan energi surya atau solar cell. Buku ini menjadi sangat berguna memahami konsep dasar tentang Solar Cell.

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan Universitas Negeri Manado, juga istri tercinta Dr. Regina Rosita Butarbutar, S.P., M.Si. dan anak tersayang Monique Elizabeth Kewas yang telah memberikan masukan dan motivasi yang berarti dalam penyelesaian penulisan buku ajar ini.

Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
BAB 1. KONSEP DASAR SOLAR CELL	1
BAB 2. ENERGI FOTON	5
BAB 3. <i>PHOTOVOLTAIC</i> (SEL SURYA)	9
BAB 4. KONSEP LISTRIK SOLAR CELL	16
BAB 5. MEKANISME KONVERSI ENERGI SEL SURYA ..	18
BAB 6. PENGARUH SUHU DAN KEMIRINGAN PERMUKAAN PANEL SURYA	23
BAB 7. KOMPONEN DASAR ALAT PENELITIAN SOLAR CELL SEDERHANA.....	32
BAB 8. ANALISIS SUHU PERMUKAAN TERHADAP DAYA OUTPUT SOLAR CELL 10 Wp DI TONDANO.....	35
DAFTAR PUSTAKA	42

BAB 1

KONSEP DASAR SOLAR CELL

Matahari adalah sumber energi cahaya yang dapat dimanfaatkan langsung atau dapat juga kita ubah menjadi bentuk energi lain, seperti energi panas dan energi listrik. Energi cahaya matahari dapat diubah menjadi energi panas dengan menggunakan teknologi "surya termal", alat perubahnya disebut "kolektor surya/panas" sedangkan untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik, digunakan teknologi "photovoltaic", nama alatnya adalah "sel surya" atau lebih dikenal dengan istilah "modul surya". Cahaya matahari ini memiliki partikel-partikel energi yang disebut "foton". Saat cahaya matahari mengenai sel surya, energi foton ini akan membangkitkan elektron-elektron yang ada dalam material sel surya tersebut sehingga menghasilkan tegangan (voltase) listrik. Itulah mengapa disebut "photovoltaic", karena berasal dari kata "photo = foton = cahaya" dan voltaic = voltase = tegangan listrik" yang artinya ; cahaya menjadi listrik. Jadi, walaupun pagi/sore, mendung atau hujan, selama masih ada cahaya matahari (tidak gelap) maka sel surya tetap akan dapat menghasilkan listrik, meski jumlahnya lebih sedikit dibandingkan saat siang terik atau kondisi cerah.

Jumlah energi cahaya matahari yang dapat diubah menjadi listrik sangat tergantung pada alat konversinya, yaitu modul surya. Modul surya terbuat dari berbagai material elektronik berupa semikonduktor yang mempunyai kemampuan menyerap cahaya matahari dan membangkitkan muatan listrik (pasangan electron-hole) yang terdapat didalam material sel surya tersebut.

Kemampuan jenis panel surya yang ada di pasaran saat ini, dapat menyerap dan mengubah cahaya matahari menjadi listrik rata-rata sebanyak 16-20% cahaya matahari. Artinya, tidak semua cahaya matahari dapat diubah menjadi listrik karena keterbatasan alami material sel surya yang hanya mampu menyerap radiasi cahaya matahari pada panjang gelombang (spektrum) tertentu. Sedangkan cahaya matahari sendiri memiliki rentang panjang gelombang (spektrum) yang sangat besar. Energi cahaya matahari yang diterima suatu permukaan di bumi adalah sekitar $1.000\text{W}/\text{m}^2$. Artinya, setiap lokasi seluas 1 m^2 berpotensi menghasilkan energi listrik tenaga surya sebanyak 160-200W.

Pembangkit listrik tenaga surya atau biasa disebut sistem fotovoltaik (PV) merupakan pembangkit energi listrik yang mengkonversi energi sinar matahari menjadi listrik dengan menggunakan suatu piranti semikonduktor yang disebut sel surya.

Sel surya adalah suatu piranti elektronik berbasis material semikonduktor yang berfungsi menyerap energi foton dari radiasi matahari untuk membangkitkan pembawa muatan listrik (electron-hole) di dalam material tersebut. Muatan listrik ini kemudian dipisahkan ke masing-masing kontak elektroda untuk kemudian dialirkan ke beban listrik. Tegangan yang dihasilkan sebuah sel surya berupa tegangan arus searah sebesar lebih kurang 0,5V. Agar dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, sel surya disusun secara seri atau paralel atau gabungan seri dan paralel kemudian dienkapsulasi dan dirakit dengan menggunakan komponen tambahan seperti bingkai, penyangga, kaca penutup, kabel, baut dan sebagainya sehingga membentuk modul surya.

Beberapa rangkaian modul surya kemudian digabungkan untuk menghasilkan tegangan dan daya yang dibutuhkan.

Suatu instalasi sistem pembangkit listrik tenaga surya biasanya terdiri dari beberapa modul surya. Listrik yang dihasilkan dari PLTS dapat dimanfaatkan secara langsung untuk beban rumah tangga dan peralatan elektronik lainnya (skala residensial/komersial) ataupun disuplai ke jaringan listrik yang tersedia (skala utilitas). Sistem PLTS umumnya membutuhkan inverter untuk mengkonversi arus listrik DC yang dihasilkan modul PV menjadi listrik AC.

Energi listrik telah menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia, hampir setiap sendi kehidupan manusia telah melibatkan listrik di dalamnya. Dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk serta pertumbuhan ekonomi dan industri yang semakin pesat, mengakibatkan kebutuhan energi listrik di Indonesia juga mengalami peningkatan yang signifikan. Untuk mengatasi semakin meningkatnya kebutuhan listrik ini, perlu adanya inovasi dalam hal energi terbarukan (Suwarti dkk, 2018).

Kebutuhan akan sumber energi pada saat ini sangat mendesak dibutuhkan berbagai macam produk yang mendukung kinerja dari manusia saat ini semuanya menggunakan tenaga listrik. Pada saat ini semakin banyak dikembangkan sumber tenaga atau sumber energi alternative. Salah satunya adalah menggunakan tenaga matahari. Pemanfaatan energi matahari digunakan untuk mengkonversikan energi (sel surya) menjadi energi listrik, yang dirancang menjadi panel surya. Panel surya dibangun modul-modul solar sel yang dapat menyerap energi matahari dan merubahnya menjadi sumber listrik atau energi yang

dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Mira Martawi,2018).

Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Kurang dari 30 % energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa, 47% dikonversikan menjadi panas, 23 % digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebagian kecil 0,25 % ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil 0,025 % disimpan melalui proses fotosintesis di dalam tumbuh-tumbuhan yang akhirnya digunakan dalam proses pembentukan batu bara dan minyak bumi (bahan bakar fosil, proses fotosintesis yang memakan jutaan tahun) yang saat ini digunakan secara ekstensif dan eksploratif bukan hanya untuk bahan bakar tetapi juga untuk bahan pembuat plastik, formika, bahan sintesis lainnya. Sehingga bisa dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi matahari (Saiful Manan, 2009).

Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan berbagai cara yang berlainan bahan bakar minyak adalah hasil fotosintesis, tenaga hidro elektrik adalah hasil sirkulasi hujan tenaga angin adalah hasil perbedaan suhu antar daerah dan sel surya (sel fotovoltaik) yang menjanjikan masa depan yang cerah sebagai sumber dengan bahan bakar fosil (BBM) dengan proses fotosintesis yang memakan waktu jutaan tahun.

BAB 2

ENERGI FOTON

Radiasi Surya

Bumi merupakan satu-satunya planet dari sistem tata surya yang mendapatkan jumlah radiasi matahari optimal. Radiasi matahari yang berupa ultraviolet akan diserap oleh lapisan ozon. Radiasi matahari yang diteruskan lebih jauh oleh atmosfer bumi akan mengalami proses pemantulan, pembiasan dan hamburan oleh molekul, aerosol, dan awan (Mani A, 2008).

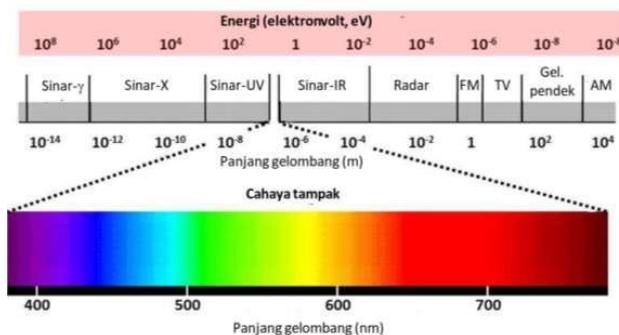
Matahari merupakan jenis bintang yang terdekat dengan bumi dengan jarak rata-rata 149.680.000 kilometer (93.026.724 mil). Matahari merupakan suatu bintang yang memberikan kehidupan di bumi dengan segala bentuk energi yang diberikan (Utomo H. S, 2016).

Energi radiasi matahari merupakan hasil dari reaksi thermonuklir yang terjadi di matahari. Energi yang dipancarkan oleh matahari meliputi semua panjang gelombang, dari gelombang alpha (α) hingga gelombang radio]. Ketika melewati atmosfer bumi, sebagian dari radiasi gelombang pendek akan diserap oleh partikel-partikel di atmosfer sehingga suhunya meningkat dan memancarkan radiasi gelombang panjang yang juga akan sampai ke permukaan bumi. Selanjutnya sebagian dari gelombang pendek yang sampai di permukaan bumi akan diserap menyebabkan suhu permukaan bumi meningkat dan memancarkan gelombang termal ke luar angkasa. Dengan

demikian, pada lapisan terluar atmosfer terkandung komponen-komponen radiasi gelombang pendek, radiasi gelombang panjang dari atmosfer, dan radiasi gelombang panjang dari permukaan bumi (Haen & Isril, 2006).

Spektrum Cahaya

Spektrum Cahaya Spektrum cahaya atau spektrum tampak adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang tampak oleh mata manusia. Radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang ini disebut cahaya. Sedangkan cahaya merupakan bentuk energi yang dikenal sebagai energi elektromagnetik yang disebut radiasi. Spektrum elektromagnetik ini dipancarkan oleh matahari secara keseluruhan melewati atmosfer bumi sedangkan radiasi elektromagnetik diluar jangkauan panjang gelombang optik atau jendela tranmisi lainnya, hampir seluruhnya diserap atmosfer (Handoko P & Fajariyanti Y, 2013).

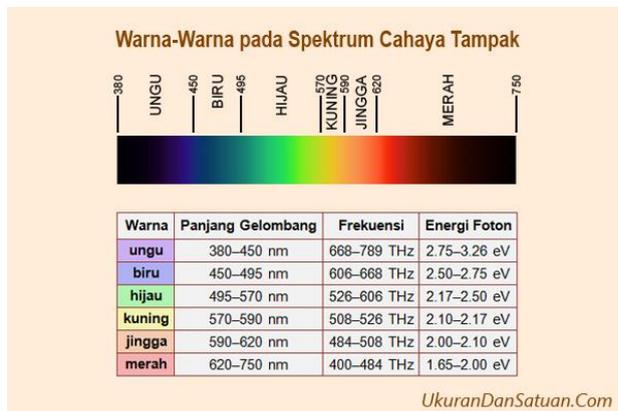


Spektrum Gelombang elektromagnetik

Sumber : Abdulah, Mikrajuddin. 2017

Dari gambar di atas dapat kita lihat berbagai spectrum gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang

dengan panjang gelombang terendah berupa sinar gamma hingga gelombang AM (Amplitudo Modulation) dengan panjang gelombang tertinggi. Dari sederetan gelombang elektromagnetik, segmen yang paling penting bagi kehidupan adalah pita sempit yang panjang gelombangnya berkisar antara 380 nm hingga 750 nm. Radiasi ini dikenal sebagai cahaya tampak karena terdeteksi oleh mata manusia sebagai bermacam- macam warna (Rizal R, 2018). Adapun perbedaan panjang gelombang untuk setiap segmen warna dari gelombang cahaya tampak di tunjukkan pada gambar berikut :



Tabel spectrum cahaya

Sumber : Rizal R, 2018

Foton

Foton adalah partikel elementer dalam fenomena elektromagnetik. Biasanya *foton* dianggap sebagai pembawa radiasi elektromagnetik, seperti cahaya, gelombang radio, dan Sinar-X. *Foton* tidak bermassa dan dalam ruang vakum *foton* selalu bergerak dengan kecepatan cahaya. *Foton* memiliki baik sifat gelombang maupun partikel (*dualisme* gelombang-partikel).

Sebagai gelombang, satu *foton* tunggal tersebar diseluruh ruang dan menunjukkan fenomena gelombang seperti pembiasan oleh lensa dan *inferensi destruktif* ketika gelombang terpantulkan saling memusnahkan satu sama lain. Sebagai partikel, *foton* hanya dapat berinteraksi dengan materi dengan memindahkan energi. Energi *foton* tergantung pada frekuensi cahaya yang digunakan, dengan persamaan (Haryadi, 2007).

BAB 3

PHOTOVOLTAIC (SEL SURYA)

Efek *Photovoltaic*

Photovoltaic (PV) adalah cara atau suatu sistem untuk mentranfer atau mengkonversikan energi cahaya atau energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang menggunakan prinsip efek *Photovoltaic*. Efek *Photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh *Henri Becquerel* pada tahun 1839 yang berbunyi sebagai berikut, Efek *Photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya *voltase* listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat di-expose di bawah energi cahaya (Gultom, 2015).

Radiasi cahaya terdiri dari biasan-biasan *foton* memiliki panjang gelombang dan spektrum cahaya yang berbeda-beda antara satu dengan yang lain yang dipengaruhi oleh tingkat energi yang dibangkitkan. Pada kondisi tertentu saat *foton* mengenai permukaan suatu sel PV, maka energi *foton* akan dibiaskan, diserap dan diteruskan menembus sel PV yang kemudian akan memicu timbulnya energi listrik. *Photovoltaic* menggunakan proses konversi langsung dari cahaya atau (energi elektromagnetik) menjadi aliran listrik dengan menggunakan sel surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya selain dipengaruhi oleh intensitas surya juga oleh efisiensinya. Secara teoritis, efisiensi yang dapat

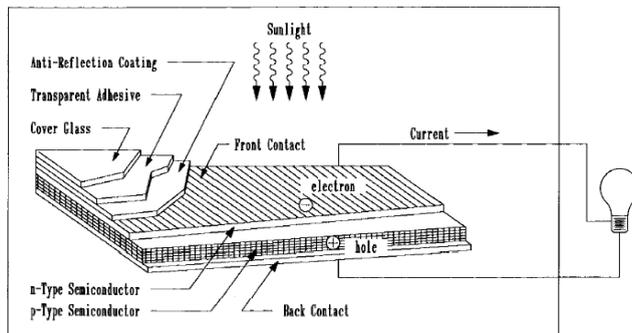
dicapai oleh sel surya maksimal sekitar 30 – 40% tergantung pada tipe dan konstruksinya, namun umumnya hanya mencapai efisiensi antara 7 – 17%. Atas dasar efisiensi tersebut, pengendalian posisi dari panel PV (yang merupakan kumpulan dari modul sel PV) menjadi penting agar intensitas matahari dapat diserap secara optimal. Sistem yang diterapkan disebut sistem *tracking* matahari (*Sun Tracking System*) (Ashfahani,2008).

Sistem *tracking* cahaya matahari adalah sebuah kesatuan komponen atau elemen yang digabungkan menjadi satu untuk mengontrol posisi alat sistem tracking dengan tujuan mengusahakan permukaan modul *solar cell* selalu menghadap arah datangnya cahaya matahari (Tudorache, T., & Kreindler, L, 2010)

Sel *Photovoltaic*

Sel *Photovoltaic* atau Sel PV merupakan suatu perangkat yang mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya sistem sel PV terdiri dari *pn junction* atau biasa kita kenal ikatan sisi positif dan ikatan sisi negatif yang sebelumnya merupakan hasil *doping* atom-atom semikonduktor. Terdapat beberapa istilah yang mempunyai arti yang sama sel *photovoltaic* yakni dikenal dengan *solar cell* atau sel surya. Dari dua istilah tersebut terdapat beberapa perbedaan dari segi cahaya yang diterima. Pada sel PV sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi sinar matahari (Rohmana R. A, 2014). Berikut ini merupakan kontruksi dasar sel surya yang di tampilkan pada

gambar berikut.



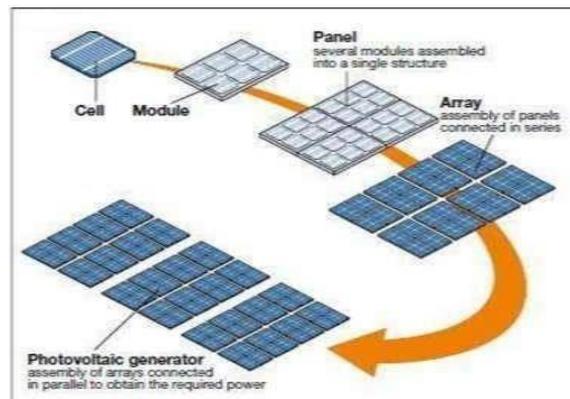
Konstruksi sel surya

Sumber : Haryadi, 2007

Dalam photovoltaic memiliki dua lapisan tipis semikonduktor yang dihubungkan dengan sambungan (junction) yaitu positif dan negatif yang terbuat dari bahan semikonduktor berupa silikon. Bagian positif yaitu suatu bagian lapisan yang permukaannya dibuat sangat tipis dengan tujuan agar radiasi matahari dapat menembus langsung ke sambungan dan bagian ini juga diberi lapisan nikel berbentuk cincin yang digunakan sebagai terminal keluaran positif. Sedangkan, bagian negatif yang berada dibawah bagian positif ini juga diberi lapisan nikel yang digunakan sebagai terminal keluaran negatif. Proses terbentuknya arus listrik yaitu ketika radiasi matahari tertangkap oleh bidang permukaan photovoltaic, kemudian beberapa foton dari radiasi matahari tersebut diserap oleh atom semikonduktor, di dalam atom semikonduktor ini elektron akan dibebaskan dari ikatan atomnya. Elektron yang bergerak bebas dan berpindahpindah inilah yang menimbulkan adanya arus listrik (Pasaribu C, 2020).

Modul Surya

Modul surya atau Photovoltaic Module adalah suatu komponen elektronik yang digunakan untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik yang disusun dari beberapa panel surya yang dirangkai seri maupun paralel, kemudian disusun dalam satu bingkai (frame) yang diberi laminasi atau lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. PV modul yang terangkai seri dari sel-sel surya ditujukan untuk meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel (Pasaribu C, 2020).



Skema hubungan antara solar cell, modul, panel, dan array

Sumber: Dafi Dzulfikar, dkk 2016

Jenis – jenis panel surya

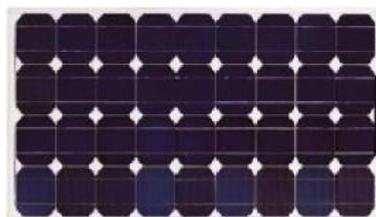
Jenis panel surya dikelompokkan berdasarkan material sel surya yang menyusunnya. Berikut ini adalah jenis-jenis panel surya:

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Panel surya jenis monokristal memiliki efisiensi sampai dengan 14-17%. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah efisiensinya akan turun saat cuaca berawan (Suwarti dkk, 2018).

Rokhman, T., & Sofwan, A (2018), menjelaskan bahwa monokristal (*mono-crystalline*) merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

Berikut ini adalah contoh panel surya jenis monokristal yang ditunjukkan pada gambar 10.



Panel Surya Jenis Monokristal

Sumber: Rokhman, T., & Sofwan, A, 2018

2. Polikristal (*Poly-crystalline*)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar

dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Panelsurya bermateri polikristal dikembangkan atas alasan mahalnya materi monokristal per kilogram. Efisiensi konversi sel surya jenis polikristal berkisar antara 11,5%-14% (Suwarti dkk, 2018).

Rokhman T.,& Sofwan A (2018), menyatakan bahwa polikristal (*Poly-crystalline*) Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Type Polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Contoh panel surya jenis polikristal ditunjukkan pada gambar 11. berikut:



Panel Surya Jenis Polikristal

Sumber: Suwarti dkk, 2018

3. *Thin Film Solar* (TFSC)

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar (Suwarti, dkk,2018).

Afif Muhammad (2018), menjelaskan bahwa temperatur kerja pada panel ini cenderung lebih cepat naik. Panel surya jenis *thin film solar* ditunjukkan pada gambar 12. berikut:



Panel Surya Jenis Thin Fil
Sumber: Suwarti dkk, 2018

Sel surya jenis ini sangat tipis sehingga sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (*Thin Film Photovoltaic*). Berdasarkan materialnya, sel surya *thin film* ini digolongkan menjadi:

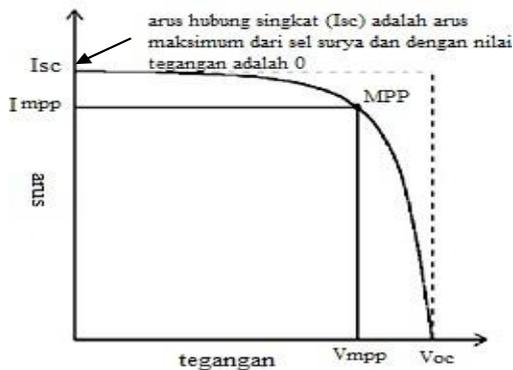
1. *Amorphous Thin-Film Silicon (a-Si) Solar Cells.*
2. *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.*
3. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.*

BAB 4.

KONSEP LISTRIK SOLAR CELL

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

I_{sc} (*Short Circuit*) adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh panel surya dengan cara menge-*short*-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul panel surya. Dan nilai I_{sc} akan terbaca pada *ampere*meter. Arus yang dihasilkan modul panel surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul panel surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan. Pada kondisi ideal tanpa rugi daya I_{sc} sama dengan I_L . I_{sc} bergantung linear terhadap *irradiance* dan dipengaruhi beberapa hal lain yaitu luas area modul panel surya, *spectrum* cahaya dan parameter optik lain. Modul panel surya komersial memiliki nilai I_{sc} yang bervariasi antara 28 mA/cm² sampai dengan 35 mA/cm² (Prihandoko, 2014).



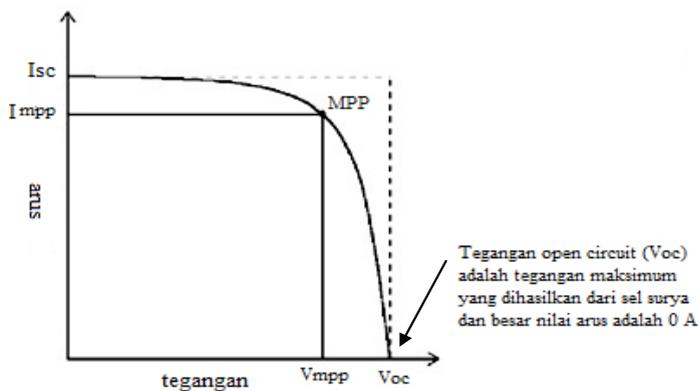
Kurva I-V solar cell yang menunjukkan arus *short circuit*

Sumber : Utomo H. S, 2016

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

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

Pada temperatur konstan, V_{oc} berskala logaritmik terhadap I_L (Arus yang dihasilkan oleh cahaya) dan arena I_L bergantung linear terhadap *irradiance* maka V_{oc} berskala logaritmik juga terhadap *irradiance*. Hal ini menyimpulkan bahwa *irradiance* lebih berpengaruh terhadap I_L daripada V_{oc} . Hal ini juga mengindikasikan bahwa V_{oc} tidak bergantung pada luas area modul panel surya (Babgei Atar Fuady, 2012).



Kurva I-V solar cell yang menunjukkan tegangan open circuit

Sumber : Utomo H. S, 2016

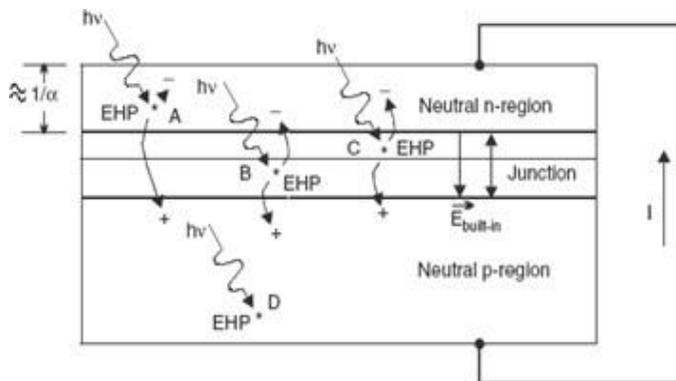
BAB 5

MEKANISME KONVERSI ENERGI SEL SURYA

Pada dasarnya mekanisme konversi energi sel surya cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Konduktivitas elektron atau kemampuan *transfer* elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah *energy*. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah kristal silikon (Handini , 2008).

Apabila suatu bahan semikonduktor seperti bahan silikon disimpan dibawah sinar matahari, maka bahan silikon tersebut akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang biasa disebut efek fotolistrik. Efek fotolistrik adalah pelepasan elektron dari permukaan metal yang disebabkan penumbukan cahaya. Efek ini merupakan proses dasar fisis dari fotovoltaik merubah energi cahaya menjadi listrik. Cahaya matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut sebagai "photons" yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung dari panjang gelombang pada spektrum cahaya. Pada saat photon menumbuk sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau mungkin hanya diteruskan. Cahaya yang diserap akan membangkitkan listrik. Pada saat terjadi tumbukan, energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan energi yang didapat

dari photon, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau “hole”.. Skema terjadinya elektron bebas diilustrasikan seperti gambar 7. (Mangapul J, 2016).



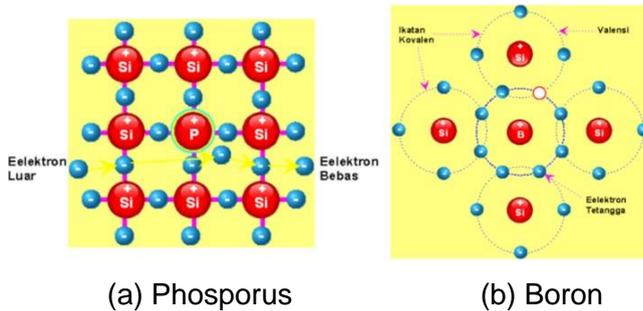
Mekanisme terjadinya elektron bebas pada bahan semikonduktor

Sumber : Mangapul J, 2016

Semikonduktor Tipe P dan Tipe N

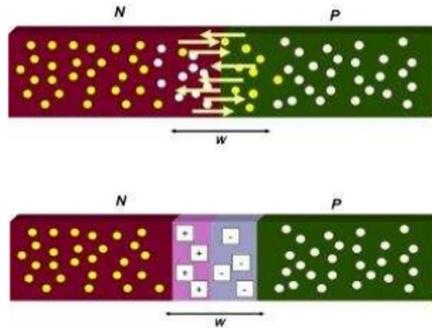
Pn-junction adalah gabungan/lapisan semikonduktor jenis p dan n yang diperoleh dengan cara doping pada silikon murni. Pada semikonduktor jenis p, terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) yang jumlahnya lebih banyak dibandingkan jumlah elektronnya, sehingga hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Demikian pula sebaliknya dengan semikonduktor jenis n. Bila bagian p dari pn-junction dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian n dihubungkan dengan kutub negatif baterai,

maka arus dapat mengalir melewati pn-junction. Kondisi ini disebut sebagai panjar maju. Bila hal sebaliknya dilakukan (panjar mundur), yaitu bagian n dari pn-junction dihubungkan dengan kutub positif baterai dan bagian p dihubungkan dengan kutub negatif baterai, maka arus tidak dapat mengalir melewati pn-junction. Akan tetapi, masih ada arus dalam ukuran sangat kecil yang masih dapat mengalir (dalam ukuran mikroamper) yang disebut dengan arus bocor (Putra, S., dan Rangkuti, Ch., 2016).



Ilustrasi struktur 2 dimensi kristal dengan bahan pengotor

Sumber : Rugianto,2013



Ilustrasi p-n junction; (a) perpindahan *hole* dan electron pada semikonduktor, (b) Hasil muatan positif dan negative pada semikonduktor

Sumber : Yusmiati, E. Sri, 2014

Semikonduktor ekstrinsik memiliki 2 tipe, yaitu semikonduktor tipe-N dan semikonduktor tipe-P (Yusmiati, E. Sri, 2014). Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor yang terdapat bahan pengotor didalamnya. Bahan pengotor dapat berupa atom-atom dari kolom ketiga (Trivalent) atau kolom kelima (Pentavalent) yang ditambahkan kedalam bahan silicon (Si) murni maupun germanium (Ge) murni (Rugianto, 2013).

Berdasarkan bahan pengotor yang ditambahkan, semikonduktor ekstrinsik (semikonduktor yang telah *doping*) dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu semikonduktor tipe-N dan tipe-P. Semikonduktor tipe-N contohnya adalah bahan silicon yang diberi pengotor Phosporus yaitu bahan yang pentavalent (memiliki electron valensi 5). Dengan demikian silicon murni menjadi tidak murni/*impurity semiconductor* akan memiliki kelebihan electron.

Oleh karena itu, semikonduktor tipe-N disebut juga sebagai semikonduktor donor yang siap melepaskan electron. Sedangkan

semikonduktor tipe-P contohnya adalah bahan silikon yang diberi pengotor Boron, Gallium atau Indium yaitu bahan yang trivalent (memiliki electron valensi 3). Karena ion silikon memiliki 4 elektron, dengan demikian akan terdapat lubang *hole* karena kekurangan electron. Lubang atau yang dapat dianalogikan sebagai acceptor yang siap menerima electron. Dengan demikian kekurangan electron ini menyebabkan semikonduktor tersebut menjadi tipe-P (Rugianto, 2013).

Sambungan bahan semikonduktor tipe-N (negative) dengan tipe-P (positive) disebut p-n junction yang dimana bila dikenai sinar matahari akan menghasilkan efek *photovoltaic* yang dapat mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik yang terjadi akibat perpindahan elektron dan hole. Silikon jenis-P pada sel surya merupakan lapisan permukaan yang sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Sebagai terminal keluaran positive, bagian P ini diberi lapisan Nikel yang berbentuk cincin. Dibawah bagian P, terdapat bagian jenis_N yang dilapisi nikel juga sebagai terminal keluaran negatifnya (Yusmiati, E. Sri, 2014).

BAB 6

PENGARUH SUHU DAN KEMIRINGAN PERMUKAAN PANEL SURYA

Beberapa penelitian mengenai solar cell yakni, Adhi Warsito dkk (2013), menjelaskan pada penelitiannya dengan membandingkan modul surya (*solar cell*) menggunakan kipas pendingin (*heat sink fan*), dan modul surya (*solar cell*) menggunakan *heat sink* tanpa kipas pendingin. Suhu maksimum *body* pada panel surya berdasarkan spesifikasi berjenis SHARP ND 120T1D dengan batas kerja suhu sebesar 45°C, jika suhu yang diperoleh melebihi dari 45°C maka akan menurunkan tegangan dari panel surya sendiri. Pada penelitiannya didapatkan suhu rata-rata *body* panel surya pada pukul 09:00 pagi hingga 03:00 sore adalah 50.14°C dan keluaran rata-rata dari panel tersebut adalah 18.80 volt. Sedangkan pada suhu rata-rata panel surya dengan penggunaan *heatsink* adalah 36°C dan keluaran rata-rata panel tersebut adalah 19.11 volt. Dengan menggunakan pendingin *heatsink* penurunan rata-rata suhu sebesar 28.20 % dan kenaikan keluaran dapat ditingkatkan sebesar 1.64 % dari efisiensi panel surya ini yang hanya 12,1%.

Solar cell dapat bekerja secara optimum dengan kondisi tertentu. Pengoperasian maksimum sel surya sangat tergantung pada temperatur panel surya, radiasi matahari, keadaan atmosfer bumi, orientasi panel surya, serta letak posisi panel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*). Banyak penelitian yang telah dilakukan tentang analisis faktor-faktor lingkungan yang

mempengaruhi kinerja *solar cell*.

Deny Suryana dan M. Marhaendra Ali (2016), menjelaskan bahwa tegangan listrik yang dihasilkan oleh suatu panel surya tidak hanya tergantung pada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperature pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar tegangan listrik tersebut, dimana pada bulan September dengan suhu sekitar 27°C tegangan yang dihasilkan 19,33Volt. Perubahan temperatur pada panel surya selain disebabkan oleh temperature lingkungan sekitar, juga disebabkan oleh bahan silicon sel-sel surya yang mampu menyerap energi foton sekaligus panas dari radiasi matahari.

Haris Isyanto dkk (2017), menjelaskan pada penelitiannya mengenai peningkatan efisiensi modul surya dengan metode pendinginan menjelaskan bahwa secara keseluruhan, ketika suhu mengalami penurunan, V_{OC} , V_{MP} dan daya maksimum mengalami kenaikan. Seiring dengan kenaikan suhu sebesar 40°C, V_{MP} dan V_{OC} masing-masing adalah 17.5 V dan 22 V dan daya maksimum adalah 10 W, ketika suhu turun ke 20 V, V_{MP} dan V_{OC} naik ke 20 V dan 24 V.

Usman, M. K. (2020), menjelaskan pada penelitiannya mengenai pengujian panel surya 10 Wp terhadap intensitas cahaya matahari menunjukkan bahwa pada intensitas cahaya 6900 lux menghasilkan tegangan sebesar 17,7 volt dan arus sebesar 0,02 ampere, pada intensitas cahaya 121.100 lux menghasilkan tegangan sebesar 20,2 volt dan arus sebesar 0,53 ampere. Artinya bahwa semakin besar intensitas cahaya yang diterima oleh

panel surya maka semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan.

Suhu permukaan *solar cell* juga berpengaruh pada daya output , Untuk itu perlu dilakukan penelitian analisa suhu terhadap daya *output solar cell* 10 Wp tipe *monocrystalline* yang bertujuan untuk menghasilkan daya keluaran pada sel surya.

Modul/panel surya merupakan media pengkonversi energi foton matahari menjadi energi listrik, dimana penggunaannya selalu terpapar cuaca langsung. Kondisi lingkungan akan selalu berubah, seperti intensitas radiasi matahari yang fluktuatif, iklim, kecepatan angin dan cuaca. Faktor kondisi lingkungan tersebut tentunya akan berpengaruh terhadap perubahan temperatur permukaan panel, yang pada akhirnya juga akan mempengaruhi daya yang dibangkitkan oleh sel surya tersebut. Pada kondisi rentang temperatur 56°C, daya keluaran akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur permukaan sel surya. Sedangkan dalam kondisi nyata terdapat fluktuasi daya keluaran sel surya dikarenakan faktor lingkungan (Rizali, M & Irwandy, 2015).

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh suatu panel surya tidak hanya tergantung kepada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar tegangan listrik (Suryana D. & Ali. M.M, 2016).

Efisiensi konversi panel berkurang dengan meningkatnya permukaan suhu panel. Fenomena ini dikarenakan adanya pengurangan tegangan dan FF terhadap peningkatan

temperatur panel. Daya keluaran panel surya juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, dari pengukuran eksperimental untuk tiga panel surya yang berbeda (monokristal, polikristal dan *copper indium gallium selenide*) diperoleh bahwa performansi panel surya akan menurun terhadap kenaikan temperatur lingkungan (Aish, 2015). Pada daerah tropis terdapat pengurangan daya pada Instalasi panel yang signifikan sebesar 0,5% setiap peningkatan suhu permukaan panel 1 °C (Ya'acob *et.al*, 2014).

Pengaruh Suhu terhadap kinerja panel surya

Salah satu faktor yang mempengaruhi unjuk kerja (*performance*) suatu modul/panel surya adalah temperatur/suhu panel. Sedangkan yang mempengaruhi temperatur panel surya adalah :

1. Temperatur lingkungan (*ambient temperature*)
2. Koefisien temperatur (*Temperature Coefficient*)
3. Kecepatan angin (*wind velocity*) dan
4. Tipe instalasi panel surya,

Selain itu parameter spesifikasi koefisien temperatur menjadi faktor pertimbangan yang penting dalam merancang instalasi PLTS karena temperatur panel yang tinggi justru akan menurunkan performansi panel itu sendiri. Panel surya terbuat dari silikon kristalin, itulah sebabnya semakin tinggi suhunya, semakin rendah kinerjanya. Ini adalah sifat intrinsik silikon dalam panel fotovoltaik, daya berkurang karena tegangan sel berkurang. Ini terjadi meskipun arus yang diproduksi meningkat.

Koefisien temperatur di definisikan sebagai laju perubahan parameter terhadap perubahan temperatur. Daya dari

panel surya akan mengalami penurunan terhadap kenaikan temperatur. Parameter koefisien temperatur yang dimaksudkan dapat berupa koefisien temperatur dari arus, tegangan, dan daya. Harga koefisien temperatur daya dan tegangan bernilai negatif (-) hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur panel akan menyebabkan penurunan parameter (V-P) panel surya, akan tetapi sebaliknya koefisien temperature arus bernilai positif (+) (Duffie, 2013).

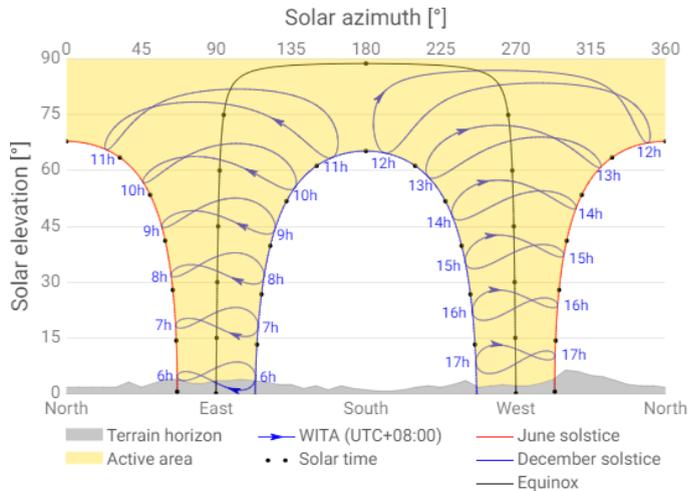
Kemiringan Panel Surya

Untuk memaksimalkan intensitas matahari yang diterima oleh panel surya maka pada perancangan sistem dibutuhkan sudut kemiringan panel yang paling tepat untuk menerima radiasi matahari yang paling tinggi. Sudut yang mempengaruhi pemasangan panel surya pada instalasi ada 2 macam yaitu sudut kemiringan panel surya terhadap bidang horisontal atau disebut juga dengan slope dan sudut yang diukur searah dengan acuan arah selatan yang disebut dengan sudut azimuth. Ada juga beberapa parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja dari sel surya, diantaranya, perubahan temperatur, intensitas radiasi matahari, tertutupnya sebagian permukaan sel surya (bayangan) (Samsurizal dkk, 2018).

Kemiringan panel surya di setiap wilayah berbeda-beda, hal itu di karenakan posisi matahari yang berubah, untuk mengetahui kemiringan panel surya yang efektif sesuai wilayah, dapat dilihat pada global solar atlas, seperti pada table berikut contoh data di Tondano Sulawesi Utara :

Tabel Map data Tondano

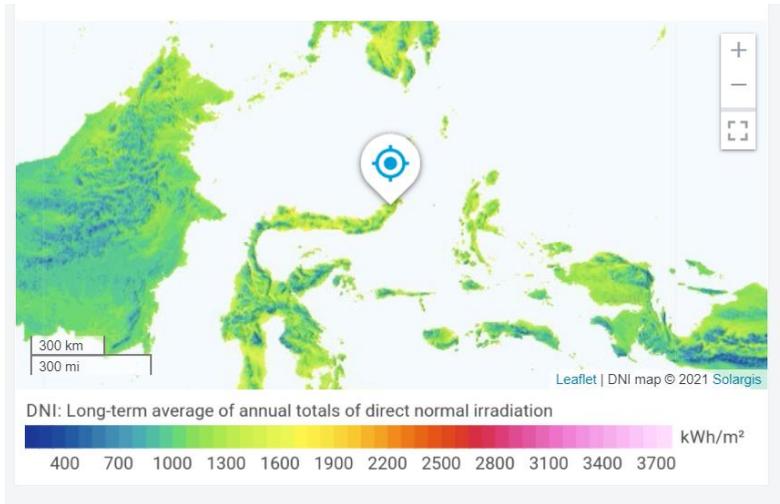
Direct normal irradiation (DNI)	1351.5 KWh/m ²
Global horizontal irradiation (GHI)	1767.5 KWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation (DIF)	834.2 KWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle (GTI opta)	1768.4 KWh/m ²
Optimum tilt of PV modules (OPTA)	2 / 180 °
Air temperature (TEMP)	22.6 °C
Terrain elevation (ELE)	693 m



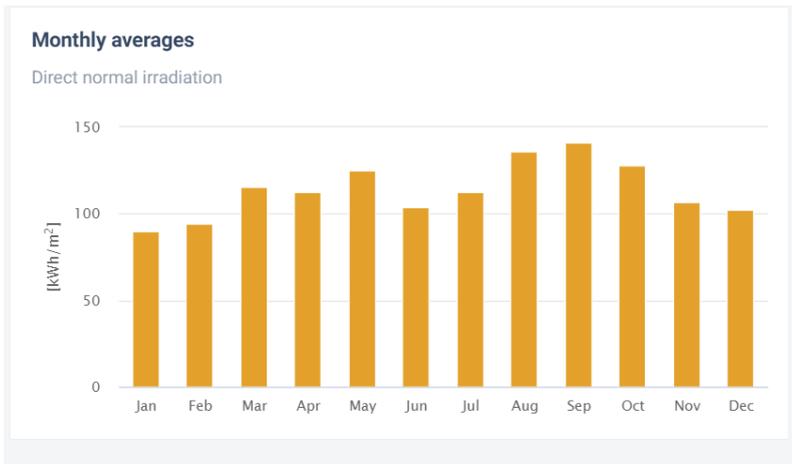
Horizon dan Sunpath Di Tondano

Sumber : Global Solar Atlas

Gambar di atas adalah grafik yang menunjukkan posisi matahari yaitu baik posisi tinggi matahari dan sudut kemiringan matahari dari permukaan bumi di wilayah Tondano.



PV Out Map di Tondano
 Sumber : Global Solar Atlas



Monthly Averages Di Tondano
 Sumber : Global Solar Atlas

Gambar di atas adalah grafik yang menunjukkan tingginya daya listrik yang bisa di hasilkan tiap bulan, dan sesuai waktu penelitian terdapat pada bulan november dengan kapasitas 106.8

kWh/m².

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				20	28				32	49	53	
6 - 7	157	167	218	316	334	262	223	265	318	339	349	268
7 - 8	295	327	381	443	459	356	328	371	435	450	455	373
8 - 9	321	367	419	494	499	404	367	425	514	504	477	398
9 - 10	325	384	437	462	477	393	388	453	525	493	426	378
10 - 11	306	354	396	392	421	350	383	466	502	432	330	328
11 - 12	287	330	356	322	371	324	367	462	488	379	278	303
12 - 13	254	302	313	255	320	296	343	444	461	333	242	274
13 - 14	253	282	319	267	296	290	337	448	438	321	252	277
14 - 15	236	291	309	268	282	269	307	406	382	302	244	253
15 - 16	230	261	270	249	278	252	278	332	328	281	238	227
16 - 17	194	213	230	230	238	221	236	267	253	231	199	197
17 - 18	42	86	91	46	45	40	82	57	39	23	19	34
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	2901	3365	3738	3765	4048	3457	3637	4397	4714	4135	3561	3310

Average Hourly Profiles Di Tondano

Sumber : Global Solar Atlas

Gambar di atas adalah gambar yang menunjukkan tinggi suhu matahari yang di pancarkan ke permukaan bumi sesuai jam dan bulan.

Besar daya yang dihasilkan panel surya bergantung pada intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan panel surya. Panel surya yang digunakan sebagai sumber energi alternatif dengan daya maksimum 50 Wp memiliki efisiensi sebesar 12,25 % . Daya yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan panel surya (Iqtimal, Z., Sara, I. D., & Syahrizal, S. 2018).

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh suatu panel surya tidak hanya tergantung kepada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperature pada permukaan panel

surya juga dapat menurunkan besar tegangan listrik tersebut, dimana pada bulan September dengan suhu sekitar 27°C tegangan yang dihasilkan 19,33V. Perubahan temperatur pada panel surya selain disebabkan oleh temperature lingkungan sekitar, juga disebabkan oleh bahan silicon sel-sel surya yang mampu menyerap energi foton sekaligus panas dari radiasi matahari (Suryana, D, 2016).

Menurut penulis suhu permukaan panel memang sangat berpengaruh besar pada daya output, sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari pada kendaraan beroda dua jika mesin terlalu panas akan berpengaruh pada kecepatan kendaraan tersebut hal ini di sebut dengan istilah *overheating*.

Suhu permukaan panel surya sangat berpengaruh besar pada daya output yang di hasilkan oleh panel surya, karena semakin tinggi/naik suhu permukaan panel surya maka daya output yang dihasilkan akan menurun. Selain itu temperature lingkungan, koefisien, kecepatan angin, dan tipe instalasi panel surya juga berpengaruh pada daya output.

BAB 7

KOMPONEN DASAR ALAT PENELITIAN SOLAR CELL SEDERHANA

NO.	ALAT	FUNGSI
1.	 <p data-bbox="373 730 604 812">Panel Surya Tipe <i>Monocrystalline</i></p>	Alat pngubah anegi matahari menjadi energy listrik
2.	 <p data-bbox="421 1173 557 1204">Multimeter</p>	Multimeter adalah alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur tiga jenis besaran listrik yaitu arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan listrik, sebutan lain untuk multimeter adalah AVO-meter yang merupakan singkatan dari satuan Ampere, Volt, dan Ohm.

<p>3.</p>	 <p>Thermometer</p>	<p>Termometer adalah alat untuk mengukur suhu atau temperatur, serta perubahan suhu.</p>
<p>4.</p>	 <p>Solar Charger Control</p>	<p>Solar Charger Control adalah alat pengatur muatan, atau pengatur baterai membatasi laju arus listrik yang ditambahkan atau ditarik dari baterai listrik,</p>
<p>5.</p>	 <p>Wattmeter</p>	<p>Wattmeter merupakan alat untuk mengukur daya listrik secara langsung. Suplai listrik bolak balik (AC) atau searah (DC).</p>

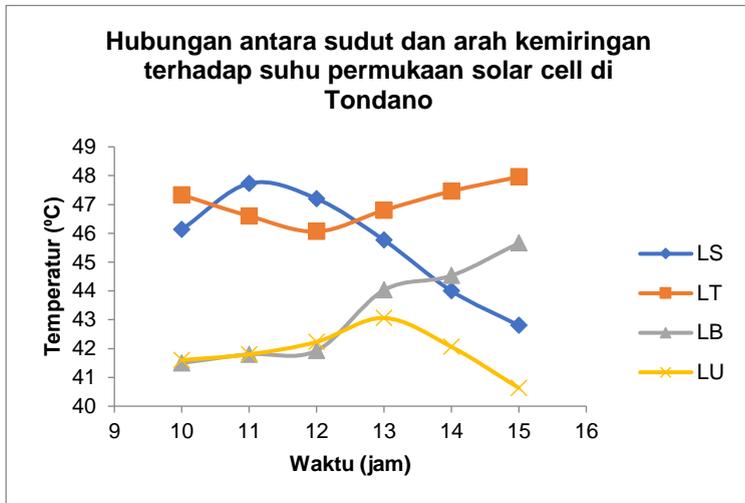
<p>6.</p>	 <p style="text-align: center;">Inclinometer</p>	<p>Inclinometer adalah alat untuk mengukur kemiringan suatu bidang</p>
<p>7.</p>	 <p style="text-align: center;">Baterai</p>	<p>Baterai adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energy dalam bentuk energy kimia.</p>
<p>8.</p>	 <p style="text-align: center;">Penyangga Panel Surya</p>	<p>Penyangga panel surya merupakan peralatan bantu untuk menstabilkan posisi pada panel surya</p>

BAB 8

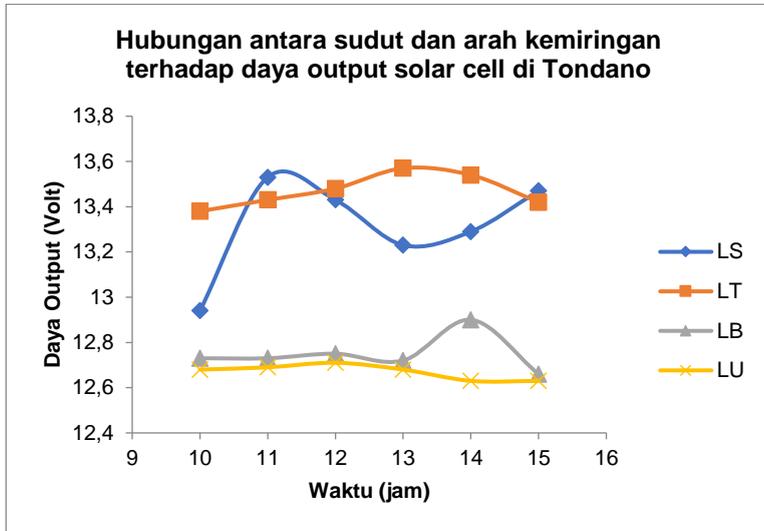
ANALISIS SUHU PERMUKAAN TERHADAP DAYA OUTPUT SOLAR CELL 10 Wp DI TONDANO

Analisa Suhu Permukaan Terhadap Daya Output Solar Cell

Dari hasil penelitian pada jam 10.00 – 15.00 WITA dengan kemiringan 2° dan posisi yang berbeda-beda yaitu pada posisi Lintang Selatan (LS), Lintang Timur (LT), Lintang Barat (LB), dan Lintang Utara (LU), didapatkan hasilnya sebagai berikut :



Grafik Hubungan antara sudut dan arah kemiringan terhadap suhu permukaan solar cell di Tondano



Grafik Hubungan antara sudut dan arah kemiringan terhadap suhu permukaan *solar cell* terhadap daya output *solar cell*

Untuk sudut kemiringan 2° LS pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai suhu permukaan sebesar 46,13°C, dan kemudian mengalami kenaikan pada pukul 11.00 WITA yakni 47.73°C, kemudian pada pukul 12.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 47.2°C, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 45.76°C, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 44°C, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 42.8°C.

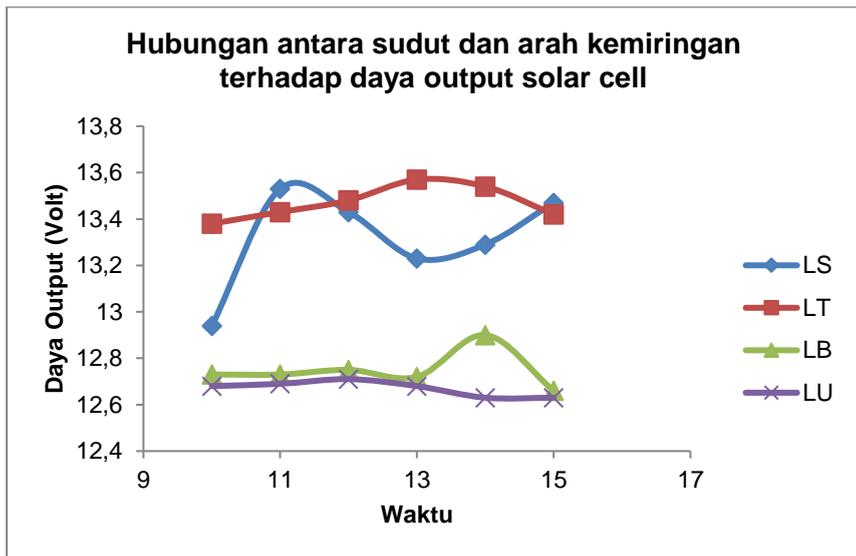
Untuk sudut kemiringan 2° LT pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai suhu permukaan sebesar 47.33°C, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 46.6°C, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 46.06°C,

pada pukul 13.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 46.8°C, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 47.46°C, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 47.96°C. dengan persamaan matematis pada $y = 0,1849x + 44.724$ dan $R^2 = 0,2579$.

Untuk sudut kemiringan 2° Lintang Barat pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai suhu permukaan sebesar 41.5°C, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 41.8°C, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 41.93°C, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 44.03°C, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 44.53°C, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 45.66°C.

Untuk sudut kemiringan 2° Lintang Utara pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai suhu permukaan sebesar 41.6°C, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 41.8°C, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 42.23°C, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 43.06°C, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 42.06°C, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan suhu permukaan sebesar 40.63°C.

Hubunga antara sudut dan arah kemiringan terhadap daya output *solar cell*



Grafik Hubungan antara sudut dan arah kemiringan terhadap daya output *solar cell*

Pada grafik di atas menunjukkan hubungan antara sudut dan arah kemiringan terhadap daya output *solar cell*, untuk sudut kemiringan 2° Lintang Selatan pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai daya output sebesar 12.94 Volt, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.53 Volt, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.43 Volt, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.23 Volt, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.29 Volt, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.47 Volt.

Sudut kemiringan 2° Lintang Timur pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai daya output sebesar 13.38 Volt, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.43 Volt, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.48 Volt, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.57 Volt, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.54 Volt, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 13.42 Volt.

Sudut kemiringan 2° Lintang Barat pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai daya output sebesar 12.73 Volt, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.73 Volt, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.75 Volt, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.72 Volt, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.90 Volt, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.66 Volt.

Sudut kemiringan 2° Lintang Utara pada pukul 10.00 WITA menunjukkan nilai daya output sebesar 12.68 Volt, pada pukul 11.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.69 Volt, pada pukul 12.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.71 Volt, pada pukul 13.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.68 Volt, pada pukul 14.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.63 Volt, dan pada pukul 15.00 WITA menunjukkan daya output sebesar 12.63 Volt.

Pada hasil penelitian sudut kemiringan 2° lintang selatan sesuai data yang di dapatkan dari suhu terendah hingga yang

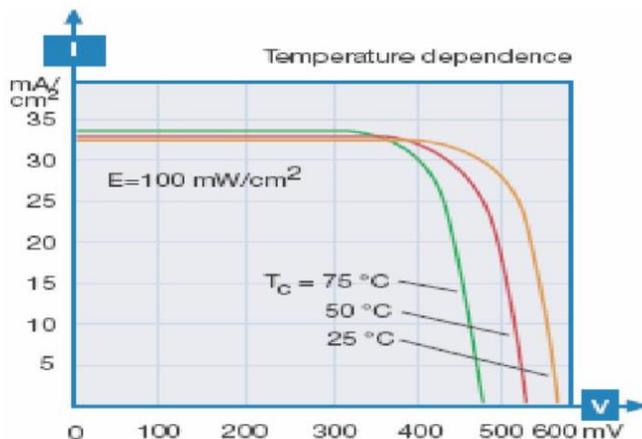
tertinggi yaitu pada suhu permukaan 45.3°C dengan daya output sebesar diwaktu keadaan cuaca yang sangat bagus (cerah) dan suhu permukaan sebesar 52.7°C dengan daya output sebesar 13.04 Volt diwaktu keadaan cuaca yang sangat bagus (cerah), bisa dilihat dimana ada perbedaan yang signifikan. Dimana suhu permukaan sangat berpengaruh pada daya output.

Semakin tinggi suhu permukaan *Solar Cell* akan menurunkan daya output atau tegangan pada *Solar Cell* hal ini terjadi karena ketahanan pada *solar Cell* yang dimana pada ketahanan *solar cell* ada beberapa indikator yaitu ketahanan shunt dan ketahanan seri, tahanan shunt (R_{sh}) muncul dari ketidak sempurnaan pada permukaan perangkat dan dalam jumlah besar serta dari arus bocor di tepi sel. Ini merupakan jalur parallel konduktivitas di persimpangan p-n dan mengurangi efisiensi sel dengan meningkatkan arus bocor yang menurunkan daya keluaran maksimum (P_m), tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}), dan faktor kurva (CF). ada beberapa mekanisme fisik yang bertanggung jawab atas tahanan seri, dimana contributor utama adalah tahanan bulk pada semikonduktor, tahanan lembar kontak logam dan interkoneksi, dan tahanan kontak antara kontak logam dan semikonduktor. Dalam sel surya konsentrator penting untuk meminimalkan tahanan seri.

Tahanan seri dan shunt dalam sel surya adalah parameter parasite, yang mempengaruhi karakteristik arus-tegangan (I-V) dan efisiensi sel. Nilai tahanan seri (R_s) yang sangat tinggi dan nilai tahanan shunt (R_{sh}) yang sangat rendah masing-masing mengurangi kepadatan arus hubung singkat (I_{sc}) dan voltase

sirkuit terbuka (V_{oc}). Pengaruh tahanan seri dan shunt pada fill factor dan efisiensi panel surya adalah menurunkan fill factor (FF) dan menurunkan efisiensi (Tarigan, A. D., & Hamdani, H, 2020)

Suhu memiliki peranan penting untuk memprediksi karakteristik V-I. Komponen semikonduktor seperti diode sensitive terhadap perubahan suhu, begitu pula dengan sel surya, pada gambar dibawah ini terlihat bahwa suhu berpengaruh banyak pada V_{oc} daripada terhadap I_{sc} , Kenaikan suhu mengurangi V_{oc} sel surya, Hal ini disebabkan peningkatan suhu menurunkan *band gap* semikonduktor (Diputra W, 2008).



Karakteristik kurva V-I terhadap perubahan suhu

Suhu yang stabil bekerja pada panel surya berkisar pada angka 45.3°C dengan daya output berkisar di angka 14.98 Volt, Suhu tertinggi yang di dapatkan mencapai 52.7°C dengan daya output 13.04 Volt, suhu permukaan panel surya tersbut bisa juga akan lebih tinggi atau naik dan juga akan menurunkan daya output pada panel surya di tondano selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi warsito, erwin adriono, m.yudi nugroho, oding, and bambang winardi. 2013., *Dipo pv cooler*, penggunaan sistem pendingin temperatur *Heatsink fan* pada panel sel surya (*photovoltaic*) sebagai Peniingkatan kerja energi listrik baru terbarukan, jurnal Transient, vol. 2, No. 3, issn: 2302-9927, 500
- Aish Q.M. 2015. Temperature Effect on Photovoltaic Modules Power Drop. Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 11, No. 2, P.P. 62- 73.
- Ashfahani, Adnan Syaraf dkk. 2008. Aplikasi Kontrol *Logika Fuzzy* Pada Sistem *Tracking* Matahari (*Sun Tracking System*) Panel *Photovoltaic*. Fakultas Teknik : Universitas Gadjah Mada (SNATI 2008).
- Asrori, A., & Yudiyanto, E. (2019). Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono dan Polikristal. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), 68-73.
- Babgei, Atar Fuady. 2012. Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracker* pada Panel Surya dengan Menggunakan *Mothode Fuzzy*. Jurusan Teknik Elektro- FTI: Intisut Sepuluh November.
- Callister, William D. "Material Science and Engineering, 7th edition" New York: John Wiley and Sons (2007)
- Dafi Dzulfikar, dkk 2016 Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016 VOLUME V, OKTOBER 2016 p- ISSN: 2339-0654 e-ISSN: 2476-9398

- Deny suryana dan M. Marhaendra ali, 2016., Pengaruh temperatur/suhu terhadap tegangan yang dihasilkan panel surya jenis monokristalin., (Studi kasus: baristand industri surabaya), Jurnal teknologi proses dan inovasi industri, vol. 2, no. 1, Kementerian perindustrian baristand industri surabaya, Indonesia
- Diputra, W. (2008). Simulator Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Modul Surya. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok.
- Duffie, JA & Beckman, W.A. 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition. John Wiley and Sons Inc, New York, John Wiley and Sons, pp. 757.
- Fitryah, Nur. 2015. Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Jakarta: Universitas Trisakti
- Fif, Muhammad. 2018. "Pengaruh Parameter Cahaya Matahari dan Suhu Terhadap Daya Keluaran Panel Surya Thin Film Jenis Amorphus
- Gultom, T. T. (2015). Pemanfaatan photovoltaic sebagai pembangkit listrik tenaga surya. *J. Mudira Indure*, 1(3), 33-42.
- Haryadi, Yusli. 2007. Pelacak Intensitas Energi Matahari Menggunakan Sel Surya. Jurusan Teknik Komputer Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer: Universitas Komputer Indonesia Bandung.
- Handini ,Wulandari. 2008. Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristal TiO₂. Fakultas Teknik: Universitas Indonesia.

- Hamdani ,Dadan. Subagiada, Kadek. dan Subagiyo, Lambang. 2011. Analisis Kinerja Solar *Photovoltaic System* (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan *Eksergi*. Program *Studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda*.
- Handoko, P., & Fajariyanti, Y. (2013, October). Pengaruh spektrum cahaya tampak terhadap laju fotosintesis tanaman air *Hydrilla verticillata*. In *Prosiding Seminar Biologi* (Vol. 10, No. 2).
- Haen, Isril. *Pemetaan Radiasi Surya Langsung dan Radiasi Surya Baur untuk Wilayah Indonesia serta Validasi Peta Radiasi Surya*. Laporan Akhir Kumulatif Program Penelitian dan Pengembangan IPTEK Riset Kompetitif LIPI Tahun Anggaran 2006.
- Haris isyanto, Budiyanto, Fadliandi, Prian Gagani, 2017., Pendingin untuk peningkatan daya keluaran panel surya, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Seminar Nasional Sains Dan Teknologi
- Heri, J. (2012). Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Cell Kapasitas 50wp. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 3(1).
- Iqtimal, Z., Sara, I. D., & Syahrizal, S. (2018). Aplikasi Sistem Tenaga Surya Sebagai Sumber Tenaga Listrik Pompa Air. *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*, 3(1).
- Jaedun, A. (2011). Metodologi penelitian eksperimen. *Fakultas Teknik UNY*, 12.

- Karina, A.Satwiko, S. 2012. Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. Universitas Negeri Jakarta.
- Mani, A. (2008). Handbook of solar radiation data for India. *Resonance-Journal of Science Education*, 13(11), 1082-1086.
- Mangapul, J. (2016). Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 WATT. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1(1), 79-95.
- Mira Martawi, Analisa Pengaruh Intensitas Cahaya Jurnal ELTEK, Vol. 16 Nomor 01, April 2018ISS 1693-4024
- Pasaribu, C. (2020). Analisa Pengaruh Pendinginan Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Matahari. *Kumpulan Karya Ilmiah Mahasiswa Fakultas sains dan Tekhnologi*, 3(3), 1-1.
- Priahandoko, Heru. 2014. Optimalisasi Sudut Cermin Datar Sebagai *Reflector* Panel Surya Polikristal Penjejak Matahari. Jurusan Teknik Elektro: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Putra, S., dan Rangkuti, Ch., 2016. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal. Seminar Nasional Cendekiawan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.
- Rizali, M & Irwandy, 2015. Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Daya pada Kondisi Eksperimental dan Nyata. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik

- Mesin XIV (SNTTM XIV), Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015.
- Rizal, R. (2018). Mitos dan Eksplanasi Ilmiah Lembayung Senja. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 1(1), 16-22.
- Rohmana, R. A. (2014). Analisa Performansi dan Monitoring Solar Photovoltaic System (SPS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tuban Jawa Timur (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Rokhman, T., & Sofwan, A. (2018). Rancang Bangun Prototipe Gardu Pembangkit Listrik Hybrid Mikro Hidro Dan Sel Surya Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Teknik Elektro. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 2(1), 1-9.
- Rugianto. "Teknik Dasar Elektronika Komunikasi, edisi 1". Jakarta: Kementerian Pendidikan & Kebudayaan (2013)
- Satwiko, S. 2012. "Uji Karakteristik Sel Surya Pada Sistem 24 Volt DC sebagai *Catudaya* pada Sistem Pembangkit Tenaga *Hybrid*". Jakarta: FMIPA UNJ.
- Samsurizal, S., Makkulau, A., & Christiono, C. (2018). Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method. *Energi & Kelistrikan*, 10(2), 137-144.
- Suryana D. & Ali. M.M. 2016. Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya). *Jurnal teknologi proses dan inovasi industri*, vol. 2, no. 1, november 2016.

- Suwarti, Wahyono & Prasetyo B.2018. Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah terhadap Kinerja Panel Surya. EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol 14 No. 3 September 2018, 78 – 85.
- Tudorache, T., & Kreindler, L. (2010). Design of a Solar Tracker System for PV Power Plants. *Acta Polytechnica Hingarica*, Vol.7 No. 1
- Tarigan, A. D., & Hamdani, H. (2020, September). Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya. In *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU* (Vol. 3, No. 1, pp. 121-127).
- Usman, M. K. (2020). Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), 52-57.
- Utomo, H. S. (2016). Optimalisasi Nilai Daya dan Energi Listrik pada Panel Surya Polikristal Dengan Teknologi Scanning Reflektor Cermin Datar.
- Ya'acob M.E., Hizam H., Bakri M. 2014. Performance Test Conditions for Direct Temperature Elements of Multiple PV Array configurations in Malaysia. *Energy Procedia* 61 (2014) 2387 – 2390.
- Yusmiati, E. Sri. "BAB 11". Malang: No Publisher (2014)

ISBN 978-623-5692-35-7



9 786235 692357