

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panel surya adalah bahan yang terbuat dari semikonduktor yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Permasalahan utama dari penggunaan panel surya adalah daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya bergantung pada intensitas cahaya yang mampu ditangkap oleh panel surya. Besar intensitas cahaya yang ditangkap oleh panel surya berbanding lurus dengan daya keluaran yang dihasilkan. Dengan kata lain semakin besar intensitas radiasi yang ditangkap oleh panel surya maka semakin besar daya keluaran yang mampu dihasilkan oleh panel surya. Pemasangan panel surya yang tidak tepat akan mengakibatkan kurangnya intensitas radiasi yang ditangkap sehingga panel surya menghasilkan daya keluaran yang tidak maksimal.

Panel surya akan menangkap intensitas matahari secara maksimal apabila tegak lurus terhadap sinar datang matahari. Hal tersebut dapat dicapai dengan cara mengatur sudut kemiringan panel surya dan arah orientasi panel surya. Pada pengaturan sudut kemiringan dan arah orientasi panel surya, posisi matahari digunakan sebagai acuan untuk menentukan pengaturan panel surya yang optimal. Untuk menentukan sudut kemiringan dan arah orientasi panel surya yang optimal dapat dilakukan dengan cara mengukur daya keluaran maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel surya untuk setiap pengaturan. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menghitung posisi matahari terhadap lokasi pemasangan panel surya untuk mengetahui sudut sinar datang matahari sehingga dapat ditentukan sudut kemiringan panel surya dan arah orientasi panel surya yang optimal.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap intensitas cahaya yang dihasilkan panel surya, dan juga untuk mengetahui sudut kemiringan panel surya yang optimal. Sehingga diharapkan dengan adanya Tugas Akhir ini dapat membantu dalam menentukan sudut kemiringan panel surya yang tepat pada pemasangan panel surya di dpan laboratorium teknik tenege listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang akan dianalisis dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh sudut kemiringan panel surya tipe monocrystalline terhadap intensitas cahaya keluar panel surya
2. Menentukan sudut kemiringan panel surya yang optimal berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya keluaran panel surya di depan laboratorium teknik tenaga listrik.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan Tugas Akhir ini terfokus pada pembahasan judul yang telah disebutkan diatas, maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas. Adapun batasan masalahnya adalah:

1. Panel surya yang dipakai adalah tipe Monocrystalline 10 WP.
2. Pengukuran dilakukan di panel surya
3. Tidak memperhitungkan pengaruh suhu panel surya.

1.4 Tujuan Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan panel surya dan terhadap intensitas cahaya yang dihasilkan oleh panel surya.

1.5 Metode Penulisan

Metode yang digunakan pada penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Yaitu dengan mempelajari buku referensi, jurnal, artikel dari internet, dan bahan kuliah yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.

2. Diskusi

Yaitu berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing, masyarakat dan teman-teman sesama mahasiswa mengenai masalah-masalah yang timbul selama penulisan Tugas Akhir ini berlangsung.

1.6 Manfaat Penulisan

Manfaat penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi tentang sudut kemiringan panel surya yang tepat sehingga didapatkan daya keluaran yang maksimal untuk lokasi yang dibahas pada Tugas Akhir ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman terhadap Tugas Akhir ini maka penulis menyusun sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I: Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II: Tinjauan pustaka

Bab ini membahas tentang energi matahari, hubungan geometri matahari dan bumi, photovoltaic, sifat – sifat elektrik panel surya, dan faktor pengoperasian panel surya.

BAB III: Metode penelitian

Bab ini berisi tentang peralatan dan bahan pengujian, variasi pengujian, dan prosedur pengujian.

BAB IV: Hasil dan penelitian

Bab ini berisi tentang hasil data pengujian dan analisis data.

BAB V: Kesimpulan dan saran

Bab ini merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari Tugas Akhir dan saran penulis kepada pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

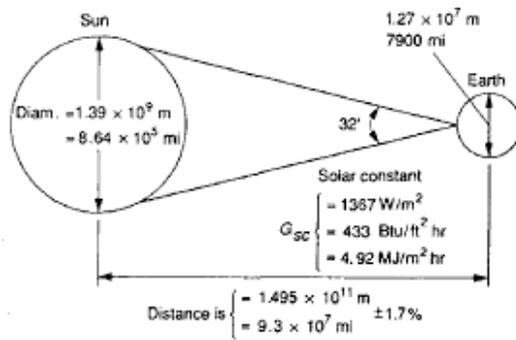
Matahari merupakan materi yang tersusun dari gas yang sangat panas dengan diameter $1,39 \times 10^9$ m, dan jarak 1.5×10^8 km dari bumi. Matahari pada dasarnya adalah sebuah reaktor fusi kontinyu dengan gas penyusunnya tetap dipertahankan oleh gaya gravitasi. Energi yang dipancarkan oleh matahari berasal dari reaksi fusi. Energi diproduksi pada bagian dalam matahari dan terkirim ke permukaan dan kemudian teradiasi ke luar angkasa.

Matahari merupakan sumber utama bagi kehidupan di bumi, sumber energi yang dihasilkan oleh matahari berupa energi panas dan energi cahaya yang dipergunakan makhluk hidup untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Bumi menerima 175×10^5 Watt radiasi surya pada atmosfer terluar. Kurang lebih 30 % dari total radiasi terefleksi kembali ke ruang angkasa, dimana 70% sisanya terserap oleh awan, lautan, dan juga daratan.

2.1.1 Radiasi yang Dipancarkan Matahari

Jarak eksentrisitas orbit bumi sedemikian rupa sehingga jarak antara matahari dan bumi bervariasi sebesar 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan sudut kecenderungan matahari 32^0 . Konstanta matahari (Gsc) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari - bumi di luar atmosfer. World

Radiation Center (WRC) menetapkan nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%. Gambar hubungan matahari dan bumi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1.

Hubungan Matahari dan Bumi

2.1.2 Radiasi Matahari Yang Diterima Oleh Bumi

Radiasi matahari yang melewati atmosfer, sebagian diserap dan sebagian menyebar. Radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- Radiasi langsung (direct radiation atau beam radiation)

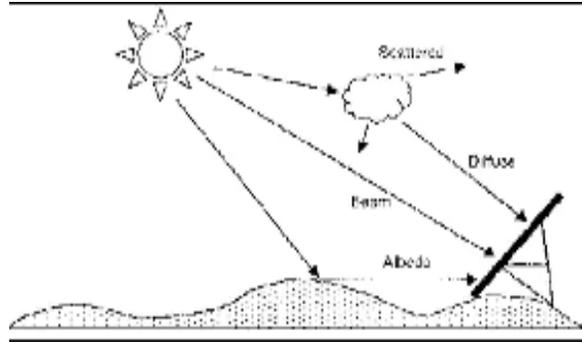
Radiasi langsung adalah radiasi yang diterima dari matahari dalam suatu garis lurus, tanpa penyebaran oleh atmosfer. Sinarinya sejajar satu sama lain; Oleh karena itu radiasi langsung dapat menciptakan bayangan dan dapat dikonsentrasikan oleh cermin.

- Radiasi tersebar (diffuse radiation)

Radiasi menyebar terdiri dari cahaya yang tersebar oleh atmosfer (udara, awan, aerosol). Difusi adalah fenomena yang menyebarkan cahaya matahari menuju ke segala arah. Di langit, sinar matahari disebarkan oleh molekul udara, butiran uap air (awan) dan debu. Tingkat penyebaran sinar sangat bergantung pada kondisi cuaca.

- Radiasi pantulan Radiasi pantulan adalah radiasi yang dipantulkan oleh tanah, yang bergantung pada keadaan lingkungan sekitar. Contohnya yaitu salju, yang memantulkan radiasi dengan jumlah yang besar. Sedangkan aspal nyaris tidak memantulkan radiasi.

Radiasi total matahari pada permukaan bumi adalah jumlah dari radiasi langsung, radiasi tersebar, dan radiasi pantulan. Gambar total radiasi matahari pada permukaan bumi dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2. Total Radiasi Pada Permukaan Bumi

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi intensitas radiasi matahari pada bumi, yaitu:

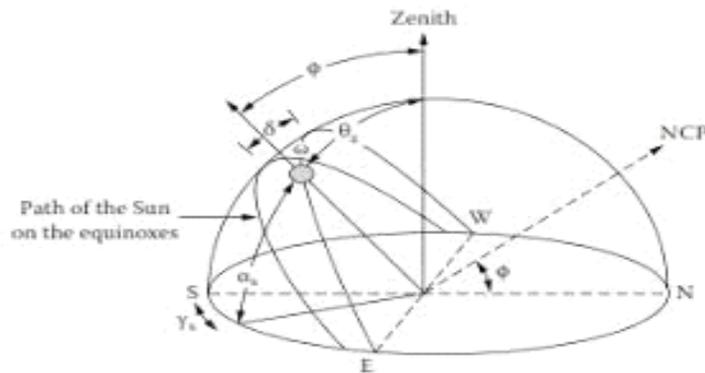
- o Pengurangan intensitas karena refleksi oleh atmosfer bumi
- o Pengurangan intensitas karena penyerapan zat – zat di atmosfer
- o Pengurangan intensitas karena Rayleigh scattering
- o Pengurangan intensitas karena Mie scattering.

Sedangkan radiasi yang jatuh pada permukaan material akan mengalami refleksi, absorbs, dan transmisi. Refleksi adalah pemantulan dari sebagian radiasi tergantung pada harga indeks bias dan sudut datang radiasi. Refleksi spektakuler terjadi pemantulan sinar pada sebuah cermin datar dimana sudut datang sama dengan sudut pantul. Sedangkan refleksi difusi terjadi berupa pantulan kesegala arah. Transmisi menjelaskan besar nilai radiasi yang dapat diteruskan oleh suatu lapisan permukaan. Kemampuan penyerapan dari suatu permukaan merupakan hal yang penting pada pemanfaatan radiasi surya. Absorbsivitas menjelaskan besar nilai radiasi yang dapat diserap. Misalnya pada bagian absorber pada sebuah kolektor radiasi surya. Refleksi, transmisi dan absorbs adalah hal yang penting dalam proses pemanfaatan radiasi surya, karena menyangkut efektifitas pemanfaatan pada sebuah pengumpul radiasi surya.

2.2 Hubungan Geometri Matahari – Bumi

2.2.1 Posisi Matahari Terhadap Bidang Horizontal

Untuk menggambarkan posisi matahari terhadap permukaan horizontal di bumi setiap saat, sudut berdasarkan koordinat bumi perlu dipahami. Sudut tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 posisi matahari dijelaskan oleh sudut-sudut matahari

Sudut ketinggian matahari (α_s), adalah ketinggian matahari diukur dalam derajat dari bidang datar bumi terhadap proyeksi sinar radiasi untuk posisi matahari. Ketika matahari berada di kaki langit, $\alpha_s = 0^\circ$ dan ketika berada tepat di atas kepala, $\alpha_s = 90^\circ$. Di sebagian besar lintang, matahari tidak akan pernah berada langsung di atas kepala. Sudut ketinggian matahari dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\alpha_s = 90 - \theta_z \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana: θ_z = sudut zenith

Sudut zenith (θ_z), adalah sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari. Sudut zenith dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\theta_z = \cos^{-1} (\cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \phi \times \sin \delta) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana: ϕ = Garis lintang

δ = Deklinasi

ω = Sudut jam matahari

Azimuth matahari (γ_s) adalah sudut pada bidang horizontal antara proyeksi sinar radiasi terhadap arah acuan utara atau selatan. Azimuth bernilai positif menunjukkan matahari berada di sebelah barat dari arah acuan selatan dan negatif menunjukkan ketika matahari berada timur dari selatan. Sudut azimuth matahari dapat dihitung dengan persamaan dibawah, dimana +1 jika ω positif dan -1 jika ω negatif:

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) |$$

Dimana: θ_z = Sudut Zenith

δ = Deklinasi

ω = Sudut jam matahari

Sudut jam (ω) adalah jarak sudut antara posisi matahari pada waktu tertentu terhadap posisi matahari tertinggi pada hari tersebut yang mana berada pada tengah hari jam matahari. Karena bumi berotasi sekali dalam setiap 24 jam, sudut jam berubah sebesar 15° per jam dan bergerak sebesar 360° dalam satu hari. Sudut jam bernilai nol pada tengah hari matahari, bernilai negatif sebelum melewati garis meridian lokal, dan positif setelah melintasi. Sudut jam matahari dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\omega = (LST - 12) \times \frac{360}{24}; \dots \dots \dots (2.5)$$

$$LST = LT + \frac{TC}{60};$$

$$TC = 4(LSTM - Longitude) + E;$$

$$E = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B);$$

$$B = \frac{360}{365} (n - 1);$$

$$LSTM = 15^\circ \cdot \Delta TGMT;$$

Dimana: LST (Local Solar Time) = Waktu matahari

LT (Local Time) = Waktu local

TC (Time Correction) = Faktor koreksi waktu

LSTM (Local Standard Meridian Time of Time) = Waktu berdasarkan GMT
 = Perhitungan waktu E (Equation

$\Delta TGMT$ = Perbedaan waktu dengan GMT

Lamanya hari bervariasi untuk semua lintang sepanjang tahun sehingga ketinggian matahari (α) juga berubah setiap jam dan setiap hari. Ketika radiasi matahari pada kolektor matahari horizontal dihitung, dua sudut baru harus didefinisikan. Sudut kemiringan permukaan (β) menunjukkan bagaimana kolektor miring terhadap bidang horizontal dimana pada kolektor horizontal sudut kemiringan (β) bernilai 0° . Sudut lain yang terkait untuk perhitungan adalah sudut permukaan azimuth (γ), yang menunjukkan seberapa jauh kolektor matahari menyimpang dari sumbu utara atau selatan. Sudut ini diukur diantara proyeksi horizontal permukaan normal terhadap arah acuan utara atau selatan, dengan nilai 0 jika mengarah ke selatan dan bernilai negatif ke arah timur dari sumbu tersebut.

2.2.2 Posisi Matahari Terhadap Permukaan Bidang Miring

Pemanenan energi matahari dalam jumlah maksimum dapat dicapai jika sinar matahari tegak lurus terhadap arah kolektor (yaitu, sejajar dengan permukaan normal kolektor). Hal ini hanya dapat dicapai ketika sistem pelacakan surya digunakan untuk memodifikasi sudut kemiringan (β) atau azimuth permukaan (γ) atau kedua sudut selama operasi kolektor. Namun, sistem ini lebih mahal daripada kolektor yang tetap karena sistem Bergeraknya.

Kolektor dengan sudut kemiringan (β) tetap adalah kolektor paling praktis dan paling banyak dipasang di seluruh dunia. Agar kolektor dengan sudut kemiringan tetap dapat menangkap sebagian besar radiasi matahari tahunan yang masuk, permukaan harus selalu miring menghadap khatulistiwa. Ketinggian matahari maksimum untuk setiap hari terjadi pada saat tengah hari ketika sudut azimuth matahari bernilai nol (yaitu, searah dengan arah acuan utara atau selatan).

Untuk periode ketika ketinggian matahari maksimum matahari pada posisi rendah, akan lebih aman untuk memasang kolektor dengan kemiringan yang lebih besar untuk meminimalkan sudut antara sinar matahari dan permukaan normal kolektor. Untuk periode ketika matahari berada di jalur yang lebih tinggi di langit, sudut kemiringan harus kecil. Untuk pemanenan yang lebih maksimal beberapa sudut kemiringan dapat digunakan untuk beberapa kondisi dalam satu tahun.

Sudut datang matahari (θ) adalah sudut antara sinar radiasi matahari di permukaan terhadap garis bayangan normal permukaan kolektor. Pada $\theta = 0^\circ$, sinar matahari tegak lurus terhadap arah permukaan kolektor dan ketika $\theta = 90^\circ$, sinar matahari sejajar dengan permukaan kolektor. Sudut datang matahari dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(\beta) - \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \dots\dots (2.6) \\ & + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\beta) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma) \sin(\omega) \end{aligned}$$

Dimana: φ = Garis lintang

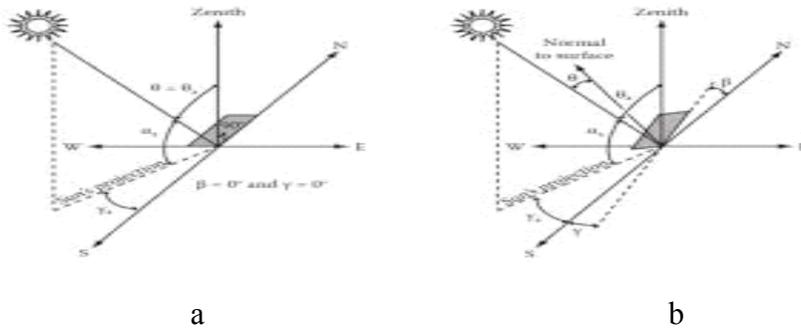
δ = Deklinasi

ω = Sudut jam matahari

β = Sudut kemiringan

γ = Sudut azimuth permukaan

Pemanenan maksimum untuk setiap intensitas matahari dicapai bila sudut datang adalah nol karena permukaan memantulkan lebih banyak cahaya ketika sinar cahaya yang datang tidak tegak lurus terhadap permukaan kolektor. Hubungan geometris antara sudut matahari terhadap permukaan ditunjukkan oleh Gambar 2.4a dan Gambar 2.4b



Gambar 2.4 Hubungan geometris antara sudut matahari terhadap(a) permukaan horizontal. (b)permukaan dengan sudut kemiringan.

Dari Gambar 2.4a sudut sinar datang matahari (θ) bernilai sama dengan sudut zenith (θ_z) dikarenakan arah normal permukaan horizontal tegak lurus dengan arah vertikal zenith permukaan horizontal. Sementara pada Gambar 2.4b, sudut sinar datang matahari (θ) berubah dikarenakan arah normal permukaan bidang miring tidak sama dengan arah vertikal zenith permukaan horizontal.

2.3 Panel Surya

Photovoltaic adalah alat yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang sering dipakai untuk pembuatan panel surya adalah silikon.

Jumlah energi yang dihasilkan oleh panel surya bergantung kepada energi matahari yang tersedia, yang pada khususnya bergantung pada arah modul surya terhadap matahari. Ketika panel surya mendapat masukan berupa intensitas cahaya matahari maka akan dapat menghasilkan arus. Besar arus yang dihasilkan oleh panel surya berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam sel surya. Besar intensitas cahaya matahari berubah sesuai dengan pergeseran posisi matahari.

Dalam kenyataannya, panel surya yang selama ini digunakan memiliki banyak variasi meliputi daya maksimum, tegangan, dan arus yang mampu dihasilkan oleh modul saat operasi. Tiap panel surya memiliki paramater yang berbeda-beda. Perbedaan utama terlihat dari tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}).

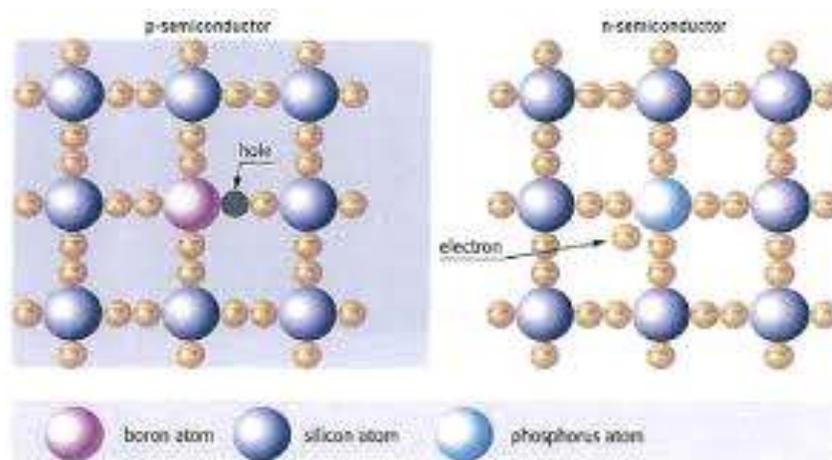
2.3.1 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya terbuat dari bahan semi konduktor yang tersusun dari lapisan tipe n dan tipe p. Lapisan tipe p dan lapisan tipe n yang bertemu akan menciptakan P – N junction. Prinsip kerja panel surya dapat dijelaskan sebagai berikut:

Semikonduktor

Elektron pada pita terluar dari sebuah atom menentukan bagaimana sebuah atom akan bereaksi atau bergabung dengan atom tetangga, pita terluar disebut pita valensi. Beberapa elektron pada pita valensi dapat melompat ke pita yang lebih tinggi dan jauh terpisah dari inti. Elektron tersebut bertanggung jawab untuk konduksi panas dan listrik, dan pita terluar ini disebut pita konduksi. Perbedaan energi dari sebuah elektron pada pita valensi dan subkulit terdalam pita konduksi disebut celah pita (band gap)

Silikon memiliki empat elektron pada pita valensi. Atom silikon murni membentuk struktur yang stabil dan masing-masing atom berbagi dua elektron dengan setiap atom disekitarnya. Jika fosfor yang memiliki lima elektron valensi (satu lebih banyak dari Si), digunakan sebagai campuran dalam silikon maka material yang dibentuk akan memiliki kelebihan elektron meskipun netral. Bahan yang didoping seperti ini disebut silikon tipe n. Jika silikon didoping (dicampur) dengan boron, yang memiliki tiga elektron valensi (satu lebih sedikit dari Si), maka ada lubang positif (hilang elektron) dalam strukturnya, meskipun material yang didoping adalah netral. Materi tersebut disebut silikon tipe-p. Dengan demikian, semikonduktor tipe n dan p memudahkan elektron dan lubang untuk bergerak di semikonduktor. Gambar 2.5 menunjukkan konduksi ekstrinsik atom silikon

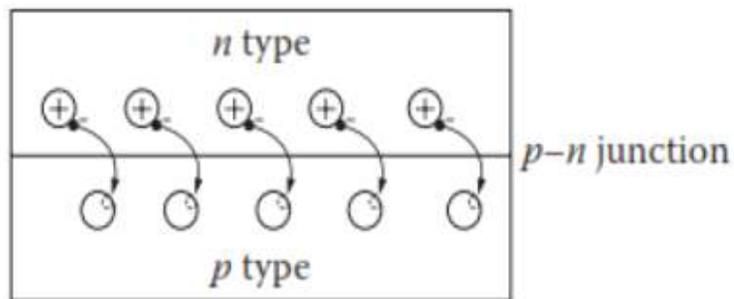


Gambar 2.5 konduksi ekstrinsik didalam silicon n – dan p - doped

P – N Junction

Bahan tipe n memiliki beberapa atom pengotor dengan elektron lebih banyak dari atom semikonduktor lainnya. Jika elektron berlebih dilepas, atom pengotor akan lebih sesuai secara merata pada struktur yang dibentuk oleh atom semikonduktor utama namun atom yang

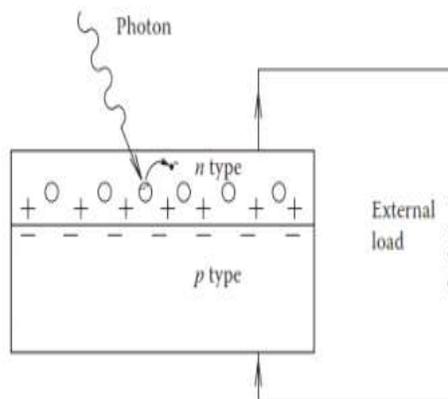
ditinggalkan akan bermuatan positif. Di sisi lain, bahan tipe p memiliki beberapa atom pengotor dengan elektron lebih sedikit dari sisa atom semikonduktor. Oleh karena itu, atom-atom ini memiliki lubang yang bisa menampung elektron berlebih meskipun atom bermuatan netral. Jika penambahan elektron dilakukan untuk mengisi lubang, atom pengotor akan lebih sesuai secara merata pada struktur yang dibentuk oleh atom semikonduktor utama namun atom tersebut akan bermuatan negatif. Hubungan lapisan p dan lapisan n ditunjukkan oleh Gambar 2.6



Gambar 2.6 P – N junction

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat ketika kedua bahan bergabung, elektron berlebih melompat dari lapisan n untuk mengisi lubang di lapisan p. Oleh karena itu di dekat sambungan materi memiliki muatan positif pada sisi n dan muatan negatif pada sisi p. Muatan negatif di sisi p membatasi pergerakan elektron tambahan dari sisi n ke sisi p, sementara pergerakan elektron tambahan dari sisi p ke sisi n menjadi lebih mudah karena muatan positif pada sambungan ada pada sisi n. Pembatasan ini membuat p-n junction berperilaku seperti dioda.

Efek Photovoltaic Ketika foton dari cahaya diserap oleh elektron valensi sebuah atom, energi elektron meningkat sesuai dengan jumlah energi dari foton. Perpindahan elektron dikarenakan foton ditunjukkan oleh Gambar 2.7[5].



Gambar 2.7 Perpindahan Elektron pada P-N Junction

Jika energy foton tersebut sama dengan atau lebih besar dari celah pita semikonduktor, electron akan melompat ke pita konduksi. Namun jika energy foton lebih kecil dari celah pita, electron tidak akan memiliki energy yang cukup untuk melompat ke pita konduksi. Akibatnya kelebihan energi dari electron diubah menjadi energy kinetic oleh elektron, yang mengakibatkan suhu meningkat. Foton hanya dapat membebaskan satu elektron meskipun energi foton jauh lebih tinggi dari celah pita. Inti dari pemanfaatan efek photovoltaik untuk pembangkitan listrik adalah untuk menyalurkan elektron bebas melalui resistansi eksternal sebelum elektron bergabung kembali dengan lubang.

2.3.2 Jenis – Jenis Panel Surya

Panel surya memiliki beberapa jenis yang berbeda tergantung dari bahan yang dipakai. Bahan yang dipakai panel surya membedakan kualitas dari panel surya yaitu kualitas tegangan dan arus. Beberapa jenis panel surya antara lain

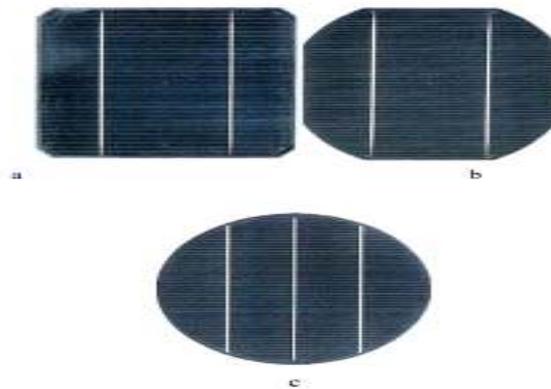
- Crystalline Silikon

Bahan yang paling utama dalam pembuatan sel surya crystalline adalah silikon. Materi ini tidak dalam bentuk murni, tetapi dalam senyawa kimia dengan oksigen dalam bentuk kuarsa atau pasir. Oksigen tidak diperlukan maka harus lebih dulu dipisahkan dari silikon dioksida.

o Sel silikon monocrystalline

Proses Czochralski (crucible drawing process) menjadi patokan dalam produksi silikon kristal tunggal untuk penggunaan peralatan yang berhubungan dengan bumi (terrestrial). Pada proses ini, bahan dasar dari polycrystalline (polysilicon) dilelehkan di dalam suatu wadah kuarsa, pada suhu sekitar 14200C. Sebuah biji kristal dicelupkan ke dalam lelehan silikon tadi dan perlahan-lahan ditarik ke atas keluar dari lelehan. Selama proses ini, kristal akan berubah menjadi monocrystal berbentuk silinder dengan diameter mencapai 30 cm. Kristal tunggal silinder ini dipotong untuk membentuk batangan semi bulat atau persegi yang kemudian dipotong lagi dengan menggunakan gergaji kawat menjadi lempeng tipis dengan tebal sekitar 0,3 mm. Lapisan berbentuk wafer itu lalu dibersihkan dengan pembasahan secara kimia, dengan pengetsaan dan pembilasan untuk menghilangkan sisa-sisa pemotongan dan bekas pemotongan. Mulai dari bagian mentah (raw wafers) kemudian lapisan didoping dengan boron menjadi tipe p sementara tipe n dibuat dengan mendoping

fosfor. Gambar bentuk sel silikon monocrystalline ditunjukkan oleh Gambar 2.8a, Gambar 2.8b, dan Gambar 2.8c [2].

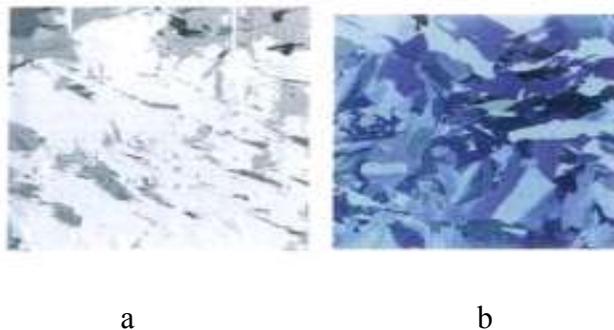


Gambar 2.8. Bentuk Sel Monocrystalline

- a. sel monocrystalline persegi
- b. sel monocrystalline semi bulat
- c. sel monocrystalline bulat

o Sel Silikon polycrystalline

Material silikon mula-mula dilelehkan didalam wadah kuarsa. Pada metode balok tuang (block cast method), balok silikon berukuran besar atau ingot akan terbentuk. Ingot biasanya dipotong-potong menjadi batangan-batangan dengan menggunakan gergaji pita (band saw) dan kemudian dipotong lagi menjadi lempengan lempengandengan ketebalan sekitar 0,3 mm dengan menggunakan gergaji kawat. Setelah pembersihan dan penambahan fosfor, lapisan anti pantul digunakan. Bentuk sel polycrystalline ditunjukkan oleh Gambar2.9a, Gambar 2.9b dan Gambar 2.9c.





Gambar 2.9. Bentuk Sel Polycrystalline

- Sel polycrystalline tanpa lapisan anti – reflektif
- Sel polycrystalline dengan lapisan anti – reflektif
- Sel polycrystalline dengan lapisan anti – reflektif dan garis grid hubung

Meskipun sama – sama terbuat dari silikon sel surya monocrystalline berbeda dengan sel surya polycrystalline. Perbedaan itu antara lain:

- Dari segi produksi, panel surya tipe monocrystalline dibuat dengan menggunakan proses Czochralski yang memiliki tingkat kerumitan tinggi sehingga harga jual panel surya monocrystalline mahal, sedangkan pembuatan panel surya tipe polycrystalline lebih sederhana sehingga harga jualnya lebih murah
- Dari segi bentuk, monocrystalline berwarna hitam (berasal dari silikon murni) dan berbentuk bundar atau segidelapan. Bentuk ini mengakibatkan tingkat kerapatan antar sel rendah. Sedangkan poly crystalline berwarna kebiruan dan memiliki corak guratan biru (hasilkan dari proses pendinginan dengan silikon seed) dan berbentuk persegi atau persegi panjang sehingga kerapatan antar sel cukup bagus.
- Dalam kondisi pengujian standar, panel monocrystalline memiliki efisiensi lebih tinggi dari panel surya tipe polycrystalline dan tipe panel surya lainnya.
- Pada suhu tinggi panel surya tipe polycrystalline menghasilkan daya lebih besar dari pada panel surya tipe monocrystallit

2. Teknologi Sel Thin – Film

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic). Gambar sel thin – film ditunjukkan oleh Gambar 2.10 [2]



Gambar 2.10 Sel Thin - Film

Berdasarkan material penyusunnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

o Amorfous Silicon (a-Si) Solar Cells.

Sel surya dengan bahan amorfous silicon ini awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya, penerapannya menjadi semakin luas. Teknik pembuatan dengan cara beberapa lapis amorfous silicon ditumpuk membentuk sel surya

o Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.

Sel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya amorphous silicon, yaitu sekitar 9%11%

o Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.

CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi jika dibandingkan dengan a-Si dan CdTe yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe

2.4 Sifat – Sifat Elektrik pada Panel Surya

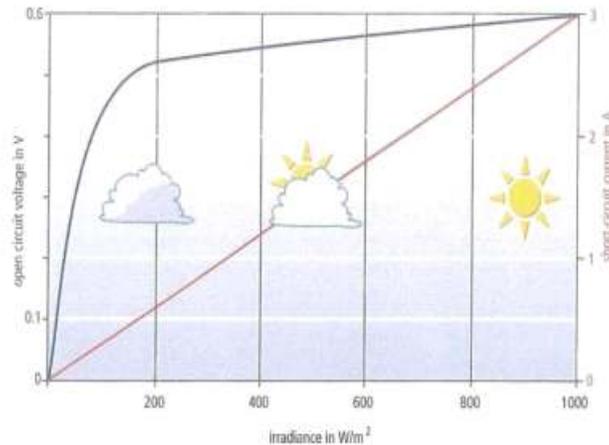
Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik listrik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda.

2.5 Faktor Pengoperasian Panel Surya

Besar daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh panel surya bergantung pada beberapa faktor sebagai berikut:

a Efek Perubahan Pancaran Iradiasi Matahari

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diperoleh sel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya. Pengaruh radiasi matahari terhadap arus dan tegangan panel surya ditunjukkan oleh Gambar 2.11.

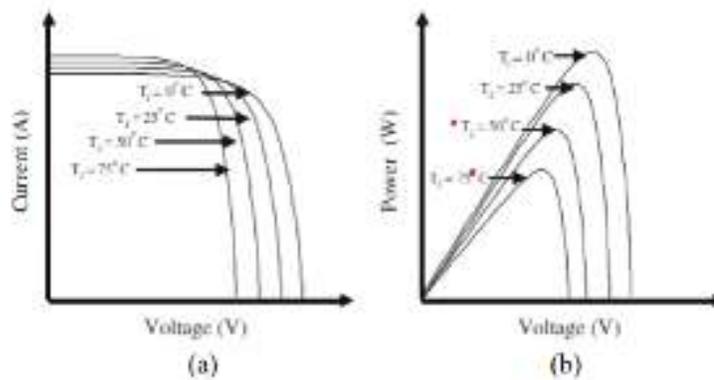


Gambar 2.11 Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap Panel Surya

Dapat dilihat bahwa I_{sc} meningkat secara signifikan terhadap peningkatan radiasi sementara kenaikan tegangan V_{oc} terjadi secara perlahan. Akibatnya daya maksimum meningkat sejalan dengan radiasi dengan begitu efisiensi akan lebih baik pada radiasi yang tinggi.

- Efek perubahan temperatur pada panel surya

Temperatur panel surya juga mempengaruhi kinerja sel dan efisiensi. Tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung dari temperatur sel surya, makin besar temperatur sel surya, tegangan berkurang sekitar 0,0023 Volt/0C untuk jenis sel silikon crystalline atau sekitar 0,0028 Volt/0C untuk jenis sel film tipis. Daya listrik juga mengalami penurunan sampai 0,5%/0C untuk jenis silikon crystalline atau sekitar 0,3%/0C untuk jenis film tipis. Sementara tegangan mengalami penurunan, sebaliknya arus listrik menunjukkan peningkatan dengan adanya penambahan temperatur. Pengaruh temperatur terhadap kurva arus vs tegangan dan kurva tegangan vs daya ditunjukkan oleh Gambar 2.12a dan Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Pengaruh Temperatur Terhadap: (a) Kurva Arus – Tegangan (b) Kurva Tegangan- Daya

Dari Gambar 2.12 dapat dilihat ketikasuhu pada panelmeningkat, arus hubung singkat Iscmeningkatsedikit tetapitegangan rangkaian terbukasangatmenurun drastis terhadap suhu. Daya maksimum juga menurun terhadap suhu panel yang meningkat.

- Kecepatan angin yang bertiup di sekitar lokasi pemasangan panel surya

Semakin kencang angin yang bertiup maka semakin cepat membantu proses pendinginan pada permukaan temperatur panel surya sehingga menyebabkan temperatur permukaan panel surya semakin rendah. Jika temperatur permukaan panel surya semakin rendah maka tegangan yang dihasilkan oleh panel surya juga akan semakin besar, begitu pula sebaliknya jika angin yang bertiup di sekitar panel surya rendah maka tegangan keluaran panel surya akan semakin rendah karena temperatur sel surya menjadi tinggi.

- Keadaan atmosfer bumi.

Keadaan atmosfer bumi yang mempengaruhi daya keluaran panel surya adalah keadaan cuaca, cerah, berawan, jenis partikel debu udara, asap, uap air, udara, kabut dan polusi udara juga menentukan hasil maksimal untuk arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

- Orientasi panel surya ke arah matahari secara optimal.

Panel surya yang terdapat pada bagian utara belahan bumi sebaiknya panel surya diorientasikan 0° menghadap ke arah selatan menghadap garis khatulistiwa untuk menerima radiasi matahari yang paling tinggi. Sebaliknya panel surya dipasang pada belahan bumi bagian selatan maka panel surya sebaiknya diorientasikan sebesar 180° menghadap ke arah utara menghadap ke garis khatulistiwa agar panel surya dapat mendapatkan radiasi matahari yang paling tinggi.

- Sudut datang matahari (tilt angle)

Radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dapat maksimal jika besarnya sudut datang matahari terhadap panel surya sebesar 90°. Sehingga pemasangan panel surya harus dipasang dengan sudut kemiringan sedemikian rupa agar sudut datang matahari yang diterima oleh panel surya dapat maksimal.

BAB III

METODOLOGI PENGUJIAN

3.1 Peralatan dan Bahan Pengujian

Untuk melakukan pengujian dibutuhkan peralatan – peralatan yang meliputi

1. Tiang penyangga

Tiang penyangga berguna untuk menopang panel surya. Tiang penyangga terbuat dari bahan besi. Sumbu azimuth memungkinkan tiang penyangga untuk berputar sebesar 100° secara horizontal sehingga memudahkan untuk mengarahkan panel surya ke titik azimuth matahari, sehingga memungkinkan untuk mengubah – ubah sudut kemiringan panel surya



Gambar3.1. Tiang Penyangga

2. Dudukan

Bagian yang berfungsi sebagai penopang panel surya pada tiang penyangga.



Gambar 3.2. Dudukan Panel Surya

3. Panel surya

Panel surya yang digunakan adalah panel surya tipe Monocrystalline 10 WP. Spesifikasi dari panel surya yang digunakan di tunjukkan oleh Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Model Panel	GH10M-18
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	21.96V
Daya maksimum rata – rata	10w
Arus hubung singkat (Isc)	0.63A
Tegangan pada daya maksimum (Vm)	17.82V
Arys pada daya maksimum (Im)	0.57A
Toleransi output	±3%
Temperatur nominal kerja	45±2 ⁰ c
Berat	1.0KG
Teknologi sel	Mono-cristal



Gambar 3.3. Panel Surya Monocrystallin

4. Multimeter

Alat yang digunakan untuk mengukur tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc) panel surya.



Gambar 3.4 Multimeter



Gambar 3.5. Modul Percoban

5. Motor serfo

Motor servo berfungsi untuk menggerakkan panel surya



Gambar 3.6. Motor servo.

6.Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan (development board) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Disebut sebagai papan pengembangan karena board ini memang berfungsi sebagai arena prototyping sirkuit mikrokontroler.



Gambar 3.7. Arduino Uno R3

7. Sensor Cahaya

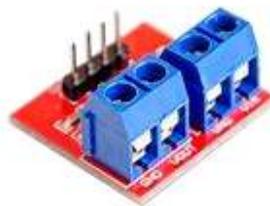
Sensor cahaya adalah sebuah alat yang digunakan untuk menguuh besaran cahaya mejadi besaran listrik. Pinsip kerja dari alat ini adalah mengubah energi dari foton menjadi elektron.



Gambar 3.8. Sensor Cahaya

8. Sensor Arus dan Tegangan

INA219 merupakan modul sensor yang dapat memonitoring tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik.



Gambar 3.9. Sensor Arus Dan Tegangan

9. Lampu LED DC 12 Volt 5 watt

Berfungsi untuk sebagai beban



Gambar 4.0. Lampu LED

10. Kabel penghubung /kabel jamper



Gambar 4.1. Kabel Penghubung

3.2 Pengujian

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap intensitas cahaya keluaran panel surya dengan kondisi:

- Panel surya sejajar dengan bidang horizontal tanah
- Panel surya dengan sudut kemiringan yang mengarah ke selatan bumi (titik azimuth panel surya 0^0)

Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan rangkaian berbeban (V_b) akan diukur pada tiap variasi untuk mendapatkan nilai daya keluaran panel surya (P_{out}) dan efisiensi (η) panel surya.

3.3 Prosedur Pengujian

3.3.1 Adapun pengujian yang dilakukan adalah:

- Pengujian sudut kemiringan panel surya saat cuaca cerah
- Pengujian pengaruh sudut kemiringan panel surya cuaca mendung

3.3.2 Pengujian Sudut Kemiringan Panel Surya saat cuaca cerah

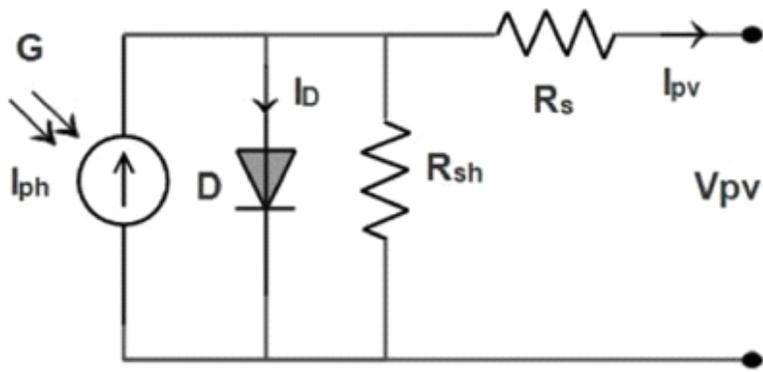
1. Mempersiapkan rangkaian panel surya

2. Menjemur panel surya
3. Mengatur sudut kemiringan panel surya sebesar 0° sejajar dengan bidang horizontal tanah
4. Pengukuran dilakukan mulai pukul 09.00 WIB
5. Mengukur tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) panel surya dengan cara menghubungkan penyidik multimeter ke terminal keluaran panel surya
6. Mengukur rangkaian berbeban (V_b) panel surya dengan cara menghubungkan penyidik multimeter ke terminal keluaran panel surya
7. Percobaan selesai

3.3.3 Pengujian Sudut Kemiringan Panel Surya

1. Menentukan arah selatan bumi
2. Panel surya dibuat menghadap ke arah selatan bumi.
3. Percobaan dilakukan pada pukul 09.00 WIB
4. Sudut kemiringan panel surya dibuat 10°
5. Mengukur tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) panel surya dengan cara menghubungkan penyidik multimeter ke terminal keluaran panel surya
6. Mengukur tegangan berbeban (V_b) panel surya dengan cara menghubungkan penyidik multimeter ke terminal keluaran panel surya
7. Langkah 4 sampai 6 dilakukan kembali untuk sudut $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$, dan 60°
8. Untuk mengukur besar sudut kemiringan panel surya ditur dari aplikasi
9. Percobaan selesai

Rangkaian panel surya



Gambar 4.2. Rangkaian Panel Surya