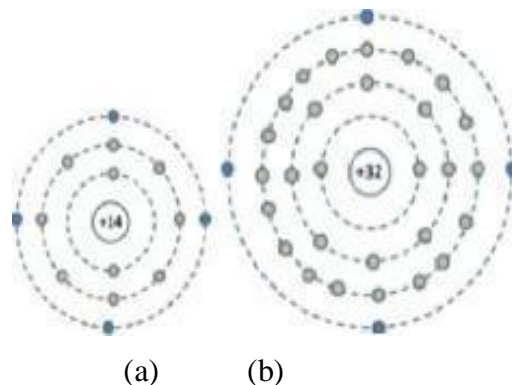


## BAB II

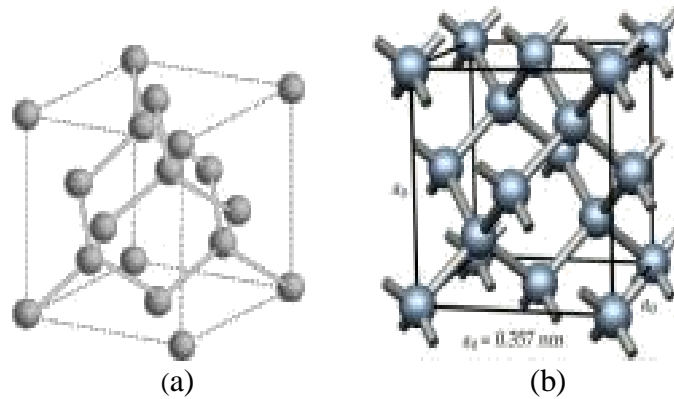
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Semi konduktor

Semi konduktor adalah zat pada amorfis atau kristal yang memiliki nilai konduktivitas listrik diantara konduktor dan isolator. Pada umumnya, semikonduktor memiliki lebih pita energi sekitar 1 sampai 4 eV [16]. Semikonduktor sangat penting dalam industri elektronika karena merupakan bahan dasar untuk pembuatan komponen elektronika seperti: dioda, transistor, *integrated circuit* (IC), *Light Emitting Diode* (LED), *photocell* dan lain-lain. Alat-alat elektronika yang ada di sekitar kita umumnya mengandung semikonduktor di dalamnya. Semi konduktor dibagi menjadi 2 (dua) macam, yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik adalah semikonduktor yang tidak terdop. Sementara semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang didop sehingga bisa menjadi semikonduktor jenis n yang pembawa mayoritasnya elektron atau semikonduktor jenis p yang pembawa mayoritasnya hole. Contoh bahan semikonduktor adalah *silicon* (Si) dan *germanium* (Ge). Struktur atom dari bahan semikonduktor *silicon* (Si) dan *germanium* (Ge) ditunjukkan pada Gambar 7, dan struktur kristal semikonduktor *silicon* (Si) dan *germanium* (Ge) ditunjukkan pada Gambar 7.



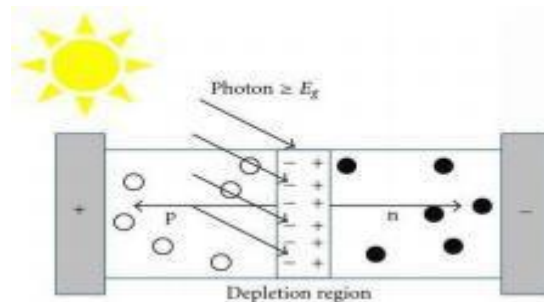
Gambar 2. Struktur atom dari (a) *silicon* dan (b) *germanium*[15].



Gambar 3. Struktur kristal dari (a) *silicon* dan (b) *germanium*[16].

## 2.2 Fenomena *photovoltaic*

Fenomena *photovoltaic* adalah fenomena dimana intensitas radiasi matahari diubah menjadi listrik. Fenomena ini melibatkan *photon* yang mengeksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi sehingga memungkinkan mereka untuk berlaku sebagai pembawa muatan arus listrik[17]. Fenomena fotovoltik pertama kali ditemukan oleh Alexandre-Edmond Becquerel. Skema fenomena *photovoltaic* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 4. Skematik fenomena *photovoltaic* [16].

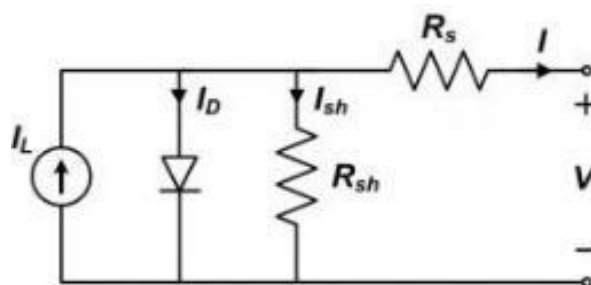
Photovoltek sela atau PV sel adalah suatu perangkat elektronik yang mengubah energi cahaya menjadi energi matahari[17]. Bentuk fisik sebuah sel surya seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Secara umum, sel surya bisa diklasifikasikan menjadi sel surya monokristalin, polikristalin dan film tipis. Material untuk sel surya monokristalin dan polikristalin adalah silikon (Si).

Material untuk sel surya film tipis sebagai contoh adalah kadmium telurida (CdTe) dan tembaga indium galium diselenida (CIGS). Sel surya monokristalin dan polikristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada sel surya film tipis. Efisiensi sel surya monokristalin dan polikristalin bisa mencapai sekitar 30 %, sementara sel surya film tipis mencapai sekitar 20 %.



Gambar 5. Kepingan sel surya[18].

Rangkaian penggantian ekuivalen dari sebuah sel surya terdiri dari sebuah sumber arus ( $I_L$ ) dengan dioda dan sebuah resistor paralel *shunt* ( $R_{sh}$ ) serta sebuah resistor seri ( $R_s$ ).  $R_{sh}$  dan  $R_s$  merupakan hambatan dalam dari sel surya itu sendiri. Gambar rangkaian ekuivalen dari sel surya dapat dilihat pada Gambar 11.



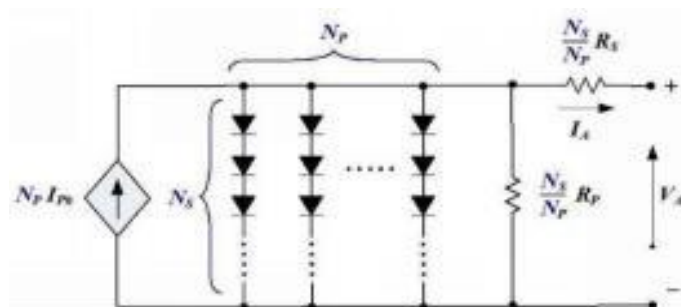
Gambar 6. Rangkaian ekuivalen sel surya[18].

Ada beberapa mekanisme yang membatasi efisiensi dari sel surya sebagai contoh rugi-rugi *photon*, rugi-rugi optik, rugi-rugi resistif, dan rugi-rugi refleksi. Usia sel surya monokristalin dan polikristalin lebih panjang daripada sel surya film tipis. Usia sel surya monokristalin dan polikristalin bisa mencapai sekitar 25 tahun. Meskipun demikian, sel surya monokristalin dan polikristalin memiliki kekurangan dibandingkan sel surya film tipis seperti harga dan ketahanan terhadap suhu.

Panel surya adalah gabungan dari sel surya yang terkoneksi. Gabungan dari beberapa panel surya membentuk *array* surya. Sistem *photovoltaic* menyediakan energi listrik untuk keperluan komersil dan tempat tinggal. Gambar 12 memperlihatkan salah satu aplikasi pemasangan panel surya yang umum dilakukan yaitu pembangkit listrik skala kecil pada atap rumah (*rooftop*). Rangkaian ekuivalen dari panel surya ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 7. Pengaplikasian panel surya secara umum[18]



Gambar 8. Rangkaian ekuivalen panel surya[18]

### **2.3. Sistem Kerja *Photovoltaik***

*Photovoltaik* adalah konversi langsung cahaya menjadi listrik pada tingkat atom. Beberapa materi menunjukkan properti yang dikenal sebagai efek fotolistrik yang menyebabkan mereka menyerap foton cahaya dan rilis elektron. Ketika elektron bebas ini ditangkap, hasil arus listrik yang dapat digunakan sebagai listrik [19]. Efek fotolistrik pertama kali dicatat oleh fisikawan Perancis, Edmund Bequerel, pada tahun 1839, yang menemukan itu bahan-bahan tertentu akan menghasilkan sejumlah kecil arus listrik ketika terkena cahaya. Pada tahun 1905, Albert Einstein menggambarkan sifat cahaya dan efek fotolistrik yang menjadi teknologi *photovoltaik* berdasarkan, di mana ia kemudian memenangkan hadiah Nobel dalam fisika. Modul *photovoltaik* pertama dibangun oleh Bell Laboratorium pada tahun 1954. Itu di gunakan sebagai baterai matahari dan sebagian besar hanya untuk pengetahuan selain itu juga mahal untuk penggunaan secara luas. Pada tahun 1960-an, industri luar angkasa mulai membuat penggunaan pertama teknologi untuk menyediakan tenaga di pesawat ruang angkasa. Melalui program luar angkasa, teknologi canggih, keandalan, dan biaya yang semakin menurun. Selama krisis energi ditahun 1970-an, teknologi *photovoltaik* memperoleh pengakuan sebagai sumber tenaga untuk aplikasi *non*-ruang [20].

### **2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Pembangkit listrik tenaga surya atau disingkat PLTS adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

*Fotovoltaik* (biasanya disebut juga sel surya) adalah piranti semikonduktor yang dapat merubah cahaya secara langsung menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal *silicon* (Si) yang tipis. Sebuah kristal silindris Si diperoleh dengan cara memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya (*photovoltaik*). Sel-sel silikon itu dipasang dengan posisi sejajarseri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumunium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Selanjutnya pada tiap-tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arustenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel itu.

Pada dasarnya sel surya *photovoltaik* merupakan suatu dioda semikonduktor yang berkerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek photovoltaik. Dalam proses itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tetapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek *photovoltaik* baru mencapai 25%, maka produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 Watt per m<sup>2</sup>[21].

## **2.5. PV Sel *Monocrystalline* dan *Polycrystalline***

Solar panel yang sangat populer dan banyak dipergunakan di dunia saat ini adalah sel *Monocrystalline* dan *polycrystallyne*. Kedua sel tersebut terbuat dari silikon, merupakan bahan yang populer dan banyak terdapat di alam dan bisa bekerja serta bertahan sangat lama, ada perbedaan utama antara kedua jenis teknologi yang harus diketahui[22].



Gambar 9 PV panel *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*

Pada proses pembuatan PV sel *monocrystalline* dibuat dengan silikon yang dibentuk menjadi batangan dan diiris. Jenis panel ini biasa disebut '*monocrystalline*' untuk membuktikan bahwa silikon yang dipakai ialah silikon *monocrystalline*. Karena sel terbuat dari kristal tunggal, elektron yang menghasilkan listrik punya lebih banyak ruang untuk mengalir. Maka dari itu, panel *monocrystalline* lebih efisien daripada saingan *polycrystalline* mereka. Panel surya jenis *polycrystalline* memang terbuat dari silikon. Namun, alih-alih memakai silikon kristal tunggal, pembuat melelehkan beberapa potongan silikon bersama untuk membentuk irisan bagi panel. Panel surya *polycrystalline* juga disebut sebagai 'multi-kristal', atau banyak kristal silikon. Karena ada banyak kristal di setiap sel, elektron kurang bebas bergerak sebabnya, panel surya *polycrystalline* punya efisiensi yang sedikit lebih rendah daripada panel surya tipe *monocrystalline*.

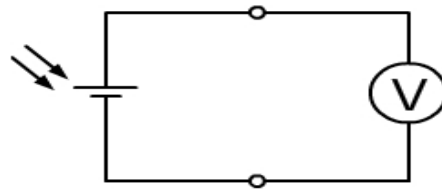
Tabel 1. Perbandingan PV panel *Monocrystaline* dan *Polycrystaline*  
*Monocrystalyn Polycrystalline*

Harga	Mahal	Lebih Murah
Efisiensi	Lebih Efisiensi	Kurang Efisiensi
Warna	Hitam	biru gelap
Bentuk sel.	Persegi yang dipotong sudutnya.	Persegi Panjang
Umur operasi.	Lebih 25 tahun	Lebih 25 tahun

### 2.5.1 Tegangan Open-Circuit (Voc)

Tegangan *open-circuit* (Voc) adalah tegangan output terminal PV panel pada saat tanpa beban atau arus sama dengan nol, pada saat ini tegangan output PV panel adalah yang terbesar [23]. Rangkaian pengganti PV panel seperti terlihat pada Gambar 16, Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan *open-circuit* (Voc)

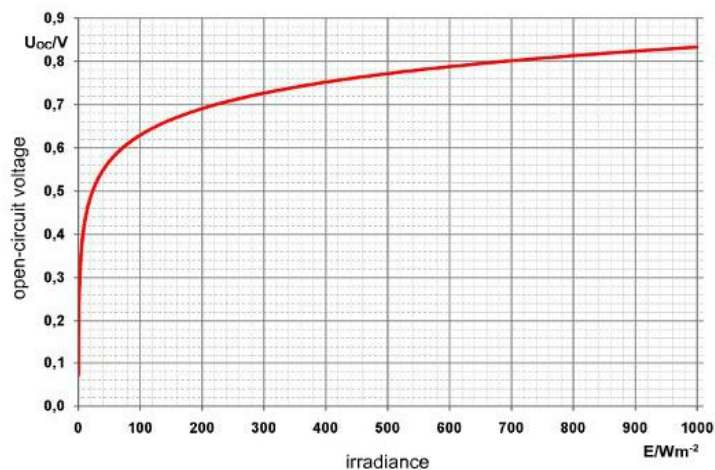
adalah irradian atau kuat irradian matahari, sudut penyinaran dan temperatur permukaan.



Gambar 10. Tegangan *open-circuit*  $V_{oc}$

### 2.5.2 Radiasi Matahari

Gambar 16 mengilustrasikan hubungan antara irradian, kuat radiasi matahari dan tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ) pada suatu PV panel



Sumber: [23]

Gambar 11. Hubungan Antara Irradian, dan  $V_{oc}$

### 2.5.3 Sudut Penyinaran

Tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ) sangat tergantung kepada sudut penyinaran sinar matahari yang mengenai permukaan permukaan panel surya. Tegangan akan maksimum pada saat arah sinar tegak lurus terhadap permukaan PV panel.

### 2.5.4 Temperatur



Tegangan *open – circuit* ( $V_{oc}$ ) suatu PV panel memiliki koefisien temperatur negative, pada saat PV panel menjadi hangat (saat terkena cahaya) tegangan  $V_{oc}$  akan turun.

## 2.6 Efisiensi

Untuk menentukan efisiensi suatu PV panel adalah dengan perbandingan daya maksimum  $P_{MPP}$  yang berupa perkalian  $FF$  dengan  $V_{MPP}$  dan  $I_{MPP}$  dengan irradian matahari  $E$ , dan luas permukaan  $A$  dari PV panel. Efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [23].

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{E \cdot A} = \frac{FF \cdot V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{E \cdot A} \quad (1)$$

### 2.6.1 Pengaruh Temperatur pada PV Sel

PV sel dapat merubah langsung energi matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi maksimum sekitar 9-12%, tergantung pada jenis PV sel. Lebih dari 80% radiasi matahari yang mencapai PV sel tidak semuanya dirubah menjadi energi listrik, sebagian dipantulkan dan sebagian lagi dirubah menjadi energi panas. Panas yang dihasilkan menyebabkan peningkatan temperatur PV sel dan mengakibatkan penurunan efisiensi konversi energi listrik. Temperatur tinggi memiliki efek negatif pada parameter pada temperatur operasi, yang akan menurun dengan kenaikan temperatur.

Seperti perangkat semikonduktor yang lain, PV sel juga sangat sensitif terhadap perubahan temperatur.

Kenaikan temperatur akan menguraikan energi band gap semikonduktor. Penurunan band gap yang disebabkan kenaikan temperature dapat diartikan sebagai kenaikan energi electron di material semikonduktor tersebut. Oleh karena itu kenaikan temperatur akan menurunkan band gap material, sehingga

dibutuhkan energi yang sedikit untuk menyebabkan perpindahan elektron pada PV sel sangat terpengaruh dengan kenaikan temperature adalah tegangan *open-circuit*  $V_{oc}$ . Selain itu PV sel sangat tergantung pada parameter lingkungan seperti radiasi matahari, kecepatan angin, kelembaban, debu dan temperatur atmosfer. Temperatur permukaan adalah parameter lingkungan utama yang mempengaruhi kinerja panel PV yang dapat mengubah parameter listrik, seperti tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), arus *short-circuit* ( $I_{sc}$ ), daya output maksimal ( $P_{max}$ ) dan *Fill Factor* FF.