

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu jenis pembangkit energi listrik yang memanfaatkan pancaran dari sinar matahari yang diterima oleh sel surya yang kemudian dari radiasi cahaya foton matahari tersebut diubah menjadi energi listrik. Kinerja dari pembangkit listrik tenaga surya ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor temperatur PV modul, faktor kondisi cuaca lingkungan, faktor lingkungan, dan faktor intensitas cahaya matahari. Faktor-faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga surya tersebut. Sel surya yang digunakan untuk menangkap pancaran cahaya matahari akan sangat peka terhadap faktor di atas sehingga pemasangan sel surya sangat penting melihat faktor tersebut. Sel surya seluas 1 meter persegi mampu menghasilkan energi listrik 900 hingga 1000 watt dengan pemasangan panel surya tegak lurus terhadap matahari, dengan fakta demikian sel surya merupakan salah satu sumber energi yang sangat menjanjikan [11].

Pemanfaatan sumber energi matahari ini menggunakan listrik DC yang dihasilkan oleh sel surya yang mendapat pancaran sinar matahari, kemudian untuk dapat dimanfaatkan listrik DC terhubung pada inverter untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC. Selama cahaya matahari masih bersinar, PLTS masih dapat menghasilkan energi listrik bahkan ketika cuaca mendung sekalipun. PLTS sendiri sebagai salah satu pencatu daya dapat digunakan dalam skala kecil maupun besar, digunakan secara mandiri atau *hybrid* (dikombinasikan dengan beberapa pembangkit listrik yang lain), yang kemudian dapat didistribusikan baik dengan metode sentralisasi (satu rumah satu pembangkit) ataupun menggunakan metode *desentralisasi* (didistribusikan dengan jaringan kabel). Panel surya ini sangat cocok dimanfaatkan karena memiliki sumber energi yang tidak akan habis dan juga ramah lingkungan.

#### **2.1.1 Intensitas Radiasi Surya**

Sinar matahari dalam arti luas adalah spektrum total radiasi elektromagnetik yang diberikan oleh matahari. Di bumi, sinar matahari disaring melalui atmosfer, dan radiasi matahari terlihat jelas saat siang hari ketika matahari berada di atas cakrawala, hal ini

biasanya selama seharian. Di musim panas matahari berada mendekati kutub, sehingga lama siang pada kutub berlangsung lebih lama dibandingkan malam hari, bahkan daerah kutub dapat terkena matahari selama 24 jam secara penuh dan saat musim dingin di daerah kutub, sinar matahari mungkin tidak terjadi setiap saat atau bahkan tidak ada matahari sama sekali.

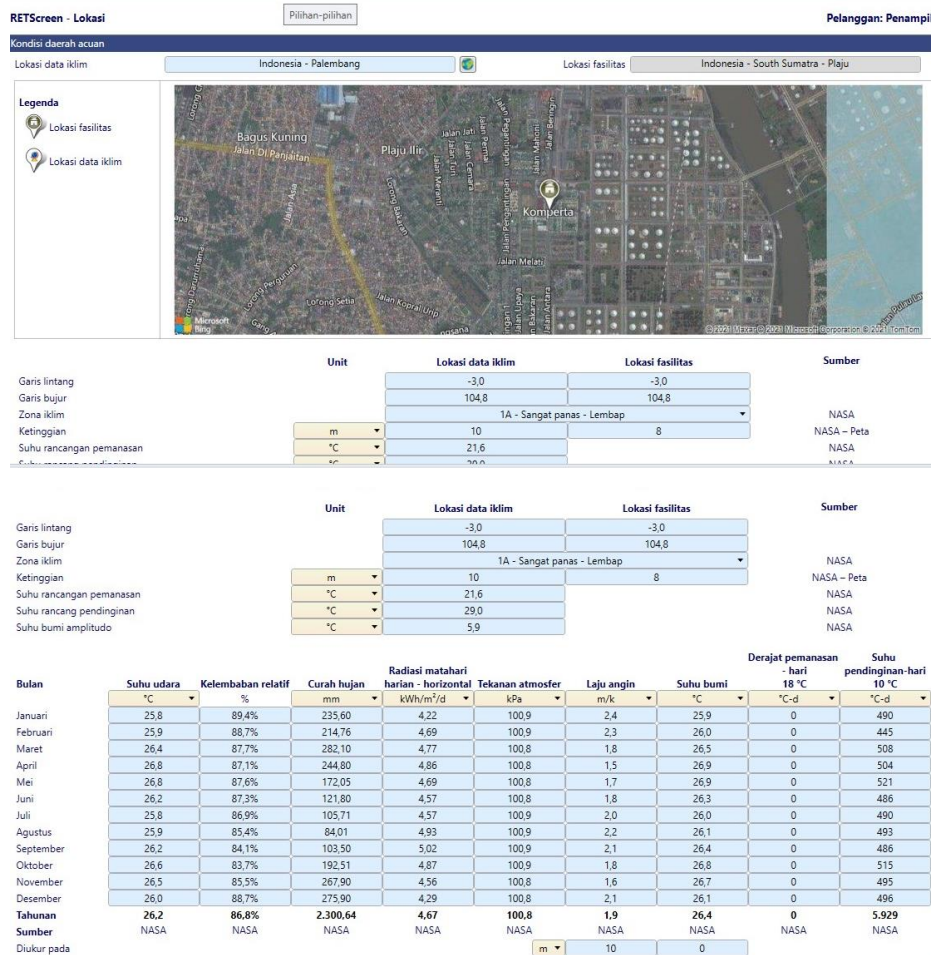
Ketika radiasi langsung tidak terhalang oleh awan, itu dikatakan sebagai sinar matahari, dengan kombinasi cahaya terang dan panas. Radiasi panas yang dihasilkan langsung dari Matahari berbeda dari peningkatan suhu atmosfer, karena pemanasan radiasi dari atmosfer disebabkan oleh radiasi matahari. Sinar matahari dapat direkam menggunakan perekam sinar matahari, *pyranometer* dan *pirheliometer* [12].

Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) mendefinisikan sinar matahari yang radiasinya langsung dari matahari diukur atas dasar setidaknya memiliki 120 WM<sup>2</sup>. Sinar matahari langsung memberikan sekitar 93 lux penerangan per Watt daya elektromagnetik, termasuk inframerah, ultraviolet dan sinar matahari cerah memberikan pencahayaan sekitar 100 000 lux per meter persegi di permukaan bumi. Sinar matahari merupakan faktor kunci dalam proses fotosintesis [13].

Energi yang berasal dari radiasi matahari merupakan potensi energi terbesar dan terjamin keberadaannya di muka bumi. Berbeda dengan sumber energi lainnya, energi matahari bisa dijumpai di seluruh permukaan bumi. Pemanfaatan radiasi matahari sama sekali tidak menimbulkan polusi ke atmosfer. Berbagai sumber energi seperti tenaga angin, bio-fuel, tenaga air, dan sebagainya. Pemanfaatan radiasi matahari umumnya terbagi dalam dua jenis, yakni termal dan *photovoltaic*. Pada sistem termal, radiasi matahari digunakan untuk memanaskan fluida atau zat tertentu yang selanjutnya fluida atau zat tersebut dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Pada sistem *photovoltaic*, radiasi matahari yang mengenai permukaan semikonduktor akan menyebabkan loncatan elektron yang selanjutnya menimbulkan arus listrik.

Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional, potensi energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4,8 KiloWatt Hour (kWh) per meter persegi per hari, setara dengan 112.000 GWp jika dibandingkan dengan potensi luasan lahan di Indonesia atau sepuluh kali lipat dari potensi Jerman dan Eropa [14]. Namun hingga saat ini, kapasitas yang tersalurkan dari intensitas yang terpasang baru  $\pm$  30 MegaWatt (MW). Kurang dari satu persen dari total potensi di seluruh Indonesia. Total potensi daya penyinaran

matahari ini didapatkan dari besar radiasi matahari per  $m^2$ , sebesar 1 kWh, dikalikan dengan lama rata-rata jam puncak matahari. Misalkan di daerah Papua jam puncak matahari sebesar 5 jam, maka total potensi daya yang dapat terserap adalah  $\pm 4,67$  kWh/m<sup>2</sup> per hari. Tingkat radiasi rata-rata matahari yang menyinari wilayah Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.

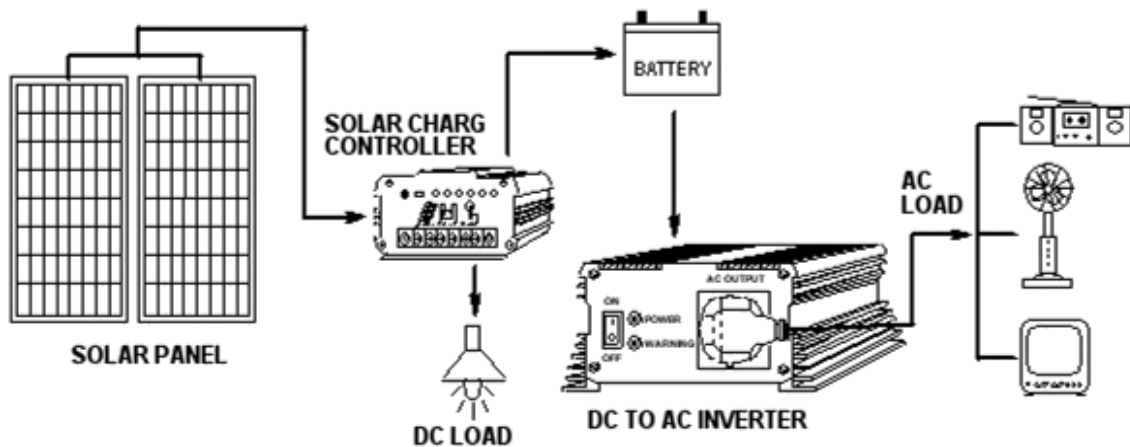


**Gambar 2.** Irradiation rata-rata di Palembang – Sumatera Selatan berdasarkan aplikasi RETScreen Expert [33]

### 2.1.2 Prinsip Kerja PLTS

Rangkaian modul surya (*photovoltaic*) akan menghasilkan listrik arus searah (*Direct Current*), apabila terdapat radiasi matahari (baik cerah maupun mendung). Besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan tergantung pada jumlah radiasi matahari, suhu udara di sekitar modul surya dan lain-lain. Listrik yang dihasilkan oleh modul surya disalurkan ke inverter, lalu *output* dari inverter diubah menjadi arus bolak-balik

(*Alternating Current*). Listrik AC ini dapat langsung disalurkan ke jaringan. Apabila terdapat beban di siang hari, maka sebagian listrik yang keluar akan langsung dipakai dan sisanya akan digunakan untuk mengisi baterai. Pada saat malam hari, atau saat produksi listrik dari modul surya lebih kecil dari pemakaian listrik, maka inverter akan mengambil listrik dari baterai kemudian mengubahnya menjadi listrik AC untuk disuplai ke jaringan sesuai kebutuhan dan kapasitasnya. Secara umum dapat digambarkan dengan rangkaian komponen seperti Gambar 3.



**Gambar 3.** Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga surya [12]

### 2.1.3 Komponen – komponen PLTS

#### a. Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sebuah sel surya atau *sel photovoltaic (PV)* adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi listrik oleh efek fotovoltaiik. Fotovoltaiik adalah bidang teknologi dan penelitian yang berkaitan dengan penerapan sel surya sebagai energi surya. Daya dari generasi fotovoltaiik disebabkan oleh radiasi yang memisahkan pembawa muatan positif dan negatif dalam menyerap bahan [15].

Sel surya terbuat dari berbagai bahan dan dengan struktur yang berbeda dalam rangka untuk mengurangi biaya dan mencapai efisiensi maksimum. Ada berbagai jenis bahan solar cell, kristal tunggal, polikristalin dan silikon amorf, senyawa bahan lapisan tipis dan semikonduktor menyerap lapisan lainnya, yang memberikan sel-sel yang sangat efisien untuk aplikasi khusus. Sel-sel silikon kristal yang paling populer, meskipun mahal. Sel surya tipe amorf silikon tipis yang lebih murah. Lapisan silikon amorf digunakan dengan baik hidrogen dan fluorine dimasukkan dalam struktur. Sebuah sel surya

merupakan unit dasar dari PV yang merupakan komponen utama dari alat pembangkit tenaga listrik surya [16].



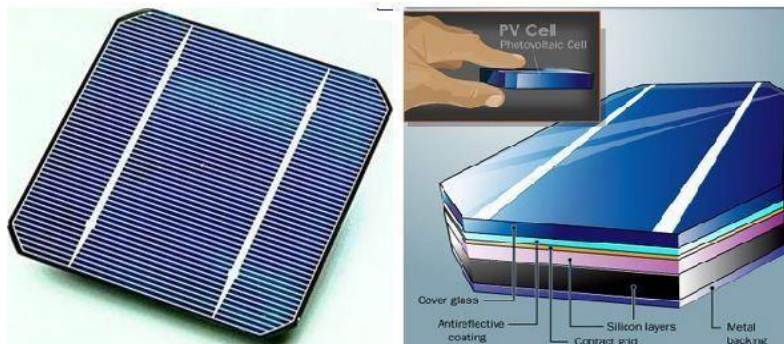
**Gambar 4.** (a) kristal tunggal, (b) polikristalin, (c) silicon amorf [16]

Dari ketiga jenis sel surya diatas, memiliki beberapa perbedaan kelebihan dan kekurangan untuk tiap masing-masing jenis. Berikut adalah perbedaan dari jenis sel surya yang ada.

**Tabel 1.** Kelebihan dan kekurangan jenis-jenis sel surya

Perbandingan	Kristal tunggal	Polikristalin	<i>Silicon amorf</i>
Harga	Mahal	Murah	Sangat mahal
Efisiensi rata-rata	19%	18%	8,5%
Daya serap	Daya serap sangat baik dikala terik, tetapi saat mendung/berawan agak kurang optimal menyerap cahaya	Daya serap berada di bawah tipe mono saat matahari terik, akan tetapi tetap dapat menyerap energi dengan baik disaat mendung/berawan	Daya serap masih sangat baik dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% dibanding jenis yang lain dengan daya yang tertera setara.
Ukuran untuk menghasilkan daya yang sama	Sedang	Besar	Sangat besar
Umur panel	15-50 tahun	10-25 tahun	15-30 tahun

Struktur *cell* surya yang umumnya di pasaran yaitu sel surya berbasis material *silicon* dimana sel surya jenis ini tersusun atas beberapa bagian seperti Gambar 5.



**Gambar 5.** Struktur cell surya jenis silikon [17]

Pada Gambar 5 menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum terdiri dari :

1. *Substrat/ metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya *dyesensitized* (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *indium tin oxide* (ITO) dan *flourine doped tin oxide* (FTO) [17].

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus Gambar 5, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran, contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS),  $\text{CdTe}$  (*kadmium telluride*), dan *amorphous silicon*, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn (S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (*copper oxide*)[18]. Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari *junction* atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk p-n *junction*. P-N *junction* ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya.

### 3. Kontak metal / *contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, di atas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal/material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

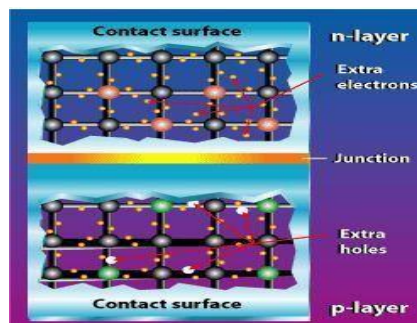
### 4. Lapisan anti-reflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor, sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

### 5. Enkapsulasi/ *cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari kotoran.

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif), sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi Gambar 6 memperlihatkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.

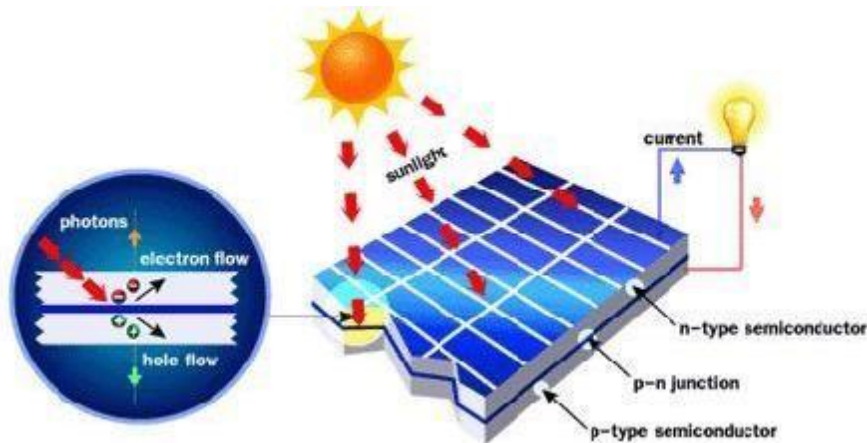


**Gambar 6.** *Junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n

Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik, sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari



semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini, maka terbentuk medan listrik dimana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n *junction* ini akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang.

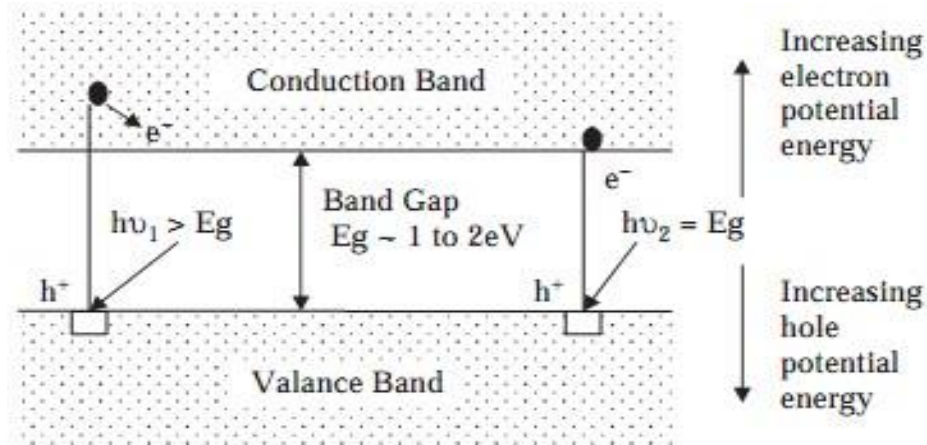


**Gambar 7.** Pergerakan elektron dari semikonduktor tipe-p menuju ke semikonduktor tipe-n.

Zat padat dapat dibagi menjadi tiga kategori, berdasarkan konduksi listrik, yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Diantara celah antara pita valensi dan pita konduksi (pita energi terlarang) dalam kasus isolator ( $h\nu < E_g$ ), Misalnya,  $h$  adalah konstanta Planck dan  $\nu$  adalah frekuensi) sangat besar. Jadi tidak mungkin untuk elektron pada pita valensi untuk mencapai pita konduksi, maka tidak ada konduksi saat ini. Dalam kasus semikonduktor ( $h\nu > E_g$ ), celah yang moderat dan elektron pada pita valensi dapat memperoleh energi cukup bagi mereka untuk menyeberangi daerah terlarang. Sementara, dalam kasus konduktor ( $E_g \approx 0$ ), celah tidak dilarang ada dan elektron dapat dengan mudah pindah ke pita konduksi.

Semikonduktor dapat lagi dibagi menjadi dua kategori: intrinsik dan ekstrinsik. Intrinsik (murni) semikonduktor memiliki tingkat permifitas di tengah konduksi dan pita valensi. Dalam hal ini kepadatan elektron bebas di pita konduksi dan lubang bebas di pita valensi sama  $n=p=n_i$  dan masing-masing sebanding dengan  $(E_g/2kT)$  [19].



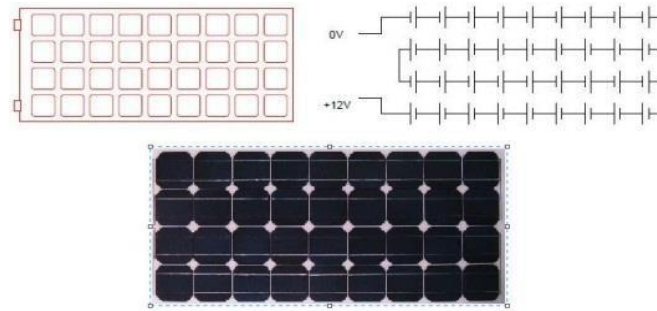


**Gambar 8.** Struktur pita semikonduktor bahan intrinsik [19]

#### b. *Array PV (Panel Surya)*

Sebuah *array fotovoltaik* adalah kumpulan hubungan dari modul fotovoltaik, yang pada gilirannya terbuat dari beberapa sel surya yang saling berhubungan. Sel-sel mengubah energi matahari menjadi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaik.

Kebanyakan *array PV* menggunakan *inverter* untuk mengubah daya DC yang dihasilkan oleh modul ke dalam arus bolak-balik (AC) yang dapat masuk ke infrastruktur yang ada untuk lampu listrik, motor dan beban lainnya. Modul dalam *array PV* biasanya pertama-tama dihubungkan secara seri untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan; string individu kemudian terhubung secara paralel untuk memungkinkan sistem untuk menghasilkan lebih banyak. *Array* surya biasanya diukur dengan daya listrik yang mereka hasilkan dalam Watt, kiloWatt atau bahkan megaWatt [19]. Output listrik dari modul tergantung pada ukuran dan jumlah sel. Panel listrik surya dapat dalam segala bentuk dan ukuran, dan dapat dibuat dari bahan yang berbeda. Kebanyakan panel PV surya memiliki 30-36 sel dihubungkan secara seri. Setiap sel memproduksi sekitar 0,5 V di bawah sinar matahari, sehingga panel menghasilkan 15 V sampai 18 V. Panel ini dirancang untuk mengisi baterai 12 V. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar 9 menunjukkan ilustrasi dari modul surya.



**Gambar 9.** Bentuk fisik dari solar sel

Panel satuan dalam Watt peak (Wp), yaitu listrik yang dihasilkan dalam sebuah beban optimal disesuaikan dengan insiden radiasi matahari 1000 WM<sup>2</sup>. Sebuah rating panel khas adalah 40 Wp. Dalam iklim tropis 40 Wp bisa menghasilkan rata-rata 150 Wh listrik per hari, tetapi karena cuaca perubahan energi bervariasi, biasanya antara 100 Wh dan 200 Wh per hari.

Pengoperasian maksimum panel surya sangat tergantung pada hal – hal sebagai berikut :

#### 1. Suhu

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika suhu yang diterimanya tetap normal pada suhu. Kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada panel surya akan melemahkan tegangan ( $V_{oc}$ ) yang dihasilkan. Setiap kenaikan suhu panel surya 1°C (dari 25°C) akan mengakibatkan berkurang sekitar 0,5 % pada total tenaga (daya) yang dihasilkan.

#### 2. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari akan berpengaruh pada daya keluaran panel surya. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya, maka arus ( $I_{sc}$ ) akan semakin rendah. Hal ini membuat titik *Maximum Power Point* berada pada titik yang semakin rendah.

#### 3. Orientasi Panel Surya (*Array*)

Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Utara, maka panel surya (*array*) sebaiknya diorientasikan ke Selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Selatan, maka panel surya (*array*) diorientasikan ke Utara.

#### 4. Sudut Kemiringan Panel Surya (*Array*)

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum  $\pm 1000 \text{ W/m}^2$  atau  $1 \text{ kW/m}^2$ . Menurut Mark Hankins (2010) cara praktis dalam pemasangan panel surya adalah menghadapkannya ke khatulistiwa pada sudut yang sama ditambah  $10^\circ$ .

#### 5. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan suhu pada permukaan sel surya sehingga suhunya dapat terjaga di kisaran  $25^\circ \text{ C}$ .

#### 6. Keadaan Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

### c. *Solar Charger Controller (SCC)*

*Solar Charger Controller* adalah suatu alat sebagai penerima arus dan tegangan dari solar cell yang berfungsi sebagai pengatur atau penyetara tegangan dan arus, dimana arus diisikan ke Accu (Battery) sebagai media penyimpanan dan kemudian diterima oleh inverter[20]. Fungsi dari *Solar Charger Controller* sebagai berikut :

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai.
2. Menjaga baterai dari *over charging* dan *over voltage*.
3. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak "*full discharge*" dan *over loading* serta memonitor temperatur baterai.

*Charger-Discharge* pengontrol melindungi baterai dari pengisian berlebihan dan melindungi dari pengiriman muatan arus berlebihan ke *input terminal*. Seperti yang telah disebutkan di atas *Solar Charge Controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi, maka secara otomatis pengisian arus dari panel sel surya berhenti.

*SCC* akan melewati arus dan tegangan sesuai dengan spesifikasi dari *SCC* yang digunakan. Pada kondisi cuaca normal dimana panel surya menghasilkan tegangan sesuai dengan range kerja dan arus maksimal dari *SCC*, maka *SCC* akan bekerja secara normal dengan mengisi baterai. *SCC* akan bersifat *short circuit* saat arus yang dihasilkan oleh panel surya melebihi dari arus maksimal *SCC*, sehingga *SCC* akan membuang arus ke tanah untuk mencegah terjadinya *over charging* pada baterai. Pada kondisi cuaca tidak

normal/ mendung *SCC* akan bersifat *open circuit* / memutus karena panel surya menghasilkan tegangan dibawah range kerja *SCC*, sehingga *SCC* tidak akan bekerja selama tegangan yang dihasilkan oleh panel surya belum mencapai range kerja *SCC*.



(a)



(b)

**Gambar 10.** (a) *Solar Charge Controller* untuk PLTS komunal; (b) *Solar Charge Controller* untuk PLTS SHS

Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Solar Charge Controller* akan mengisi *battery* sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali. *SCC* juga mempunyai beberapa indikator yang akan memberikan kemudahan kepada pengguna PLTS dengan memberikan informasi mengenai kondisi baterai, sehingga pengguna PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat di dalam baterai.

*SCC* sebagai pengatur sistem agar penggunaan listriknya aman dan efektif, sehingga semua komponen-komponen sistem aman dari bahaya perubahan level tegangan. *SCC* yang digunakan kapasitasnya tergantung dari kapasitas daya panel surya. Pemilihan kapasitas *SCC* ditentukan dengan tegangan nominal dan arus *input/output* sistem.

#### d. Baterai

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan beban. Ukuran baterai yang dipakai sangat tergantung pada ukuran panel dan beban. Baterai mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari [21].

Selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak

adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai. Kapasitas baterai tergantung dari daya panel yang dikeluarkan dengan tegangan maksimal 1 buah baterai yang dikeluarkan adalah sebesar 24 Vdc.

Suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman pengosongan maksimum, diberlakukan pada baterai. Tingkat kedalaman pengosongan (*Depth of Discharge*) baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DoD 80 %, ini berarti bahwa hanya 80 % dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20 % tetap berada dalam cadangan. Pengaturan *DoD* berperan dalam menjaga usia pakai (life time) dari baterai tersebut. Semakin dalam *DoD* yang diberlakukan pada suatu baterai maka semakin pendek pula siklus hidup dari baterai tersebut. Untuk sistem PLTS, baterai yang digunakan terdapat beberapa jenis yang dapat dipilih :

#### 1. Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*)

Baterai ini kemasannya tertutup rapi sehingga sangat sedikit senyawa/ bahan yang dapat keluar masuk baterai, oleh karena itu baterai ini tidak memerlukan perawatan lebih dan sangat cocok untuk diaplikasikan untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya. Terdapat dua jenis baterai VRLA yaitu Gel dan AGM. Pada jenis Gel, elektrolit di dalam baterai pada bentuk gel dengan penambahan bahan tertentu sedangkan tipe AGM (*Absorbed Glass Mat*) memiliki elektrolit yang terserap di sebuah material glass mat.

#### 2. Baterai OPzV

Baterai OPzV didasarkan pada teknologi pelat tubular dan pengentalan elektrolit menjadi gel. Konstruksi baterai disegel membuat baterai OPzV bebas perawatan. Baterai ini juga merupakan baterai VRLA, sehingga memiliki katup untuk mengatur penguapan pada baterai dengan menggunakan pelat tubular pada kutub positif, baterai ini memiliki tingkat siklus pemakaian yang tinggi hingga 80% dan kuat hingga 20 tahun. Elektrolit pada baterai ini merupakan campuran gel dan silica untuk mengentalkan, sehingga memungkinkan baterai ini dirakit secara horizontal dan tidak tumpah. Baterai OPzV optimal untuk aplikasi di sektor dengan tingginya jumlah pemakaian (*discharge*) seperti misalnya pada sistem pembangkit listrik tenaga surya serta untuk operasi dengan pemakaian terus menerus seperti dalam aplikasi telekomunikasi.

#### 3. Baterai ion Litium

Baterai ion litium merupakan baterai paling *energetic* dibandingkan baterai *recharger* yang lain, baterai ini dapat menyimpan listrik sampai 150 Wh dalam 1 kg

baterai, dibandingkan dengan baterai NiMH dapat menyimpan sekitar 100 Wh per kg tapi secara umum biasanya hanya 60-70 Wh. Sementara baterai timbal asam (led acid) membutuhkan berat sampai 6 kg supaya bias menyamai energi baterai ion litium seberat 1 kg. Hal ini terjadi karena ion litium sangat reaktif, sehingga banyak energi dapat disimpan dalam ikatan ion nya. Baterai ion litium ini dapat menjaga isinya dengan hanya kehilangan 5% isinya tiap bulannya dibandingkan dengan baterai NiMH yang kehilangan sampai 20% tiap bulannya. Akan tetapi baterai ion litium juga memiliki beberapa kekurangan, seperti baterai ini menurun performa/ kualitasnya segera setelah keluar pabrik, paling lama 2 atau 3 tahun dari tanggal pembuatan akan menurun jauh/rusak, baik dipakai ataupun tidak dipakai. Selain itu baterai jenis ini sensitive terhadap suhu tinggi, sehingga apabila kepanasan baterai akan lebih cepat rusak bahkan ada kemungkinan baterai dapat meledak, dan apabila isi baterai sampai habis dapat juga membuat baterai menjadi rusak.

#### *e. Inverter*

Sebuah *photovoltaic (PV) array*, terlepas dari ukuran atau kecanggihannya, dapat menghasilkan hanya listrik arus searah (DC). Pengisian baterai, misalnya dapat dengan mudah dilakukan dengan langsung menghubungkan mereka dengan modul surya. inverter yang diperlukan dalam sistem yang memasok listrik ke arus bolak-balik (AC) beban atau konsumsi PV listrik ke jaringan utilitas.

*Inverter* mengubah output DC dari array PV dan atau baterai untuk listrik AC standar yang sama dengan yang disediakan oleh utilitas (AC 220/ 380 Volt). Menurut efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah antara 60-95 %, akan tetapi hampir rata-rata inverter yang dijual di pasaran memiliki efisiensi 95 % tergantung harganya[22].

Spesifikasi *inverter* harus sesuai dengan *Battery Charge Controller (BCC)* yang digunakan. Arus yang mengalir melewati *inverter* juga harus sesuai dengan arus yang melalui BCC. Pada pemilihan *inverter*, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani, hal ini agar efisiensi kerja *inverter* menjadi maksimal.

## **2.2 Pelayanan Kapal**

Pelayanan dari kapal masuk ke perairan pelabuhan, ketika akan bersandar di tambatan, sampai saat kapal meninggalkan pelabuhan. Perairan pelabuhan adalah



permukaan air yang masuk daerah perairan pelabuhan, dimulai garis pantai sampai dengan titik-titik koordinat tertentu yang batas-batasnya ditentukan oleh Menteri Dalam Negeri. Perairan pelabuhan ini merupakan daerah yang aman, dalam arti tidak terganggu oleh alur pelayaran, area nya luas sehingga tidak memungkinkan kapal bertabrakan ketika berlabuh atau bersandar, kedalaman alur yang memadai sehingga kapal tidak kandas dan bebas dari penampakan ikan.

Dalam rangka menjaga keselamatan kapal, penumpang dan muatannya sewaktu memasuki alur pelayaran menuju dermaga atau kolam pelabuhan untuk berlabuh, maka untuk pelabuhan-pelabuhan tertentu harus dipandu oleh petugas pandu yang disediakan pelabuhan. Pemerintah telah menetapkan perairan-perairan yang termasuk dalam kategori perairan wajib pandu, perairan pandu luar biasa dan perairan di luar batas perairan pandu.

Dalam melaksanakan pemanduan kapal, sangat diperlukan tersedianya tenaga pandu serta tersedianya sarana penunjang meliputi sarana kapal tunda dan kapal kepil. Kapal yang keluar masuk pelabuhan dan mempunyai panjang kapal lebih dari 70 meter, harus menggunakan kapal tunda yang jenis dan peraturannya akan dijelaskan kemudian. Pemanduan terhadap kapal yang panjangnya (*LOA = Length Of All*) lebih dari 30 meter[23], sebagai pertimbangan keselamatan, diharuskan menggunakan kapal kepil. Pengepilan adalah melaksanakan pekerjaan untuk mengikat dan melepaskan tali kapal-kapal yang berolah gerak ketika akan bersandar atau bertolak dari sebuah dermaga, jembatan, pelampung, dll.

Pelayanan kapal lainnya adalah melayani kebutuhan air untuk kapal, sehingga di dermaga disediakan keran air yang bisa disalurkan langsung ke kapal dengan selang dan/atau dengan menggunakan tongkang yang disebut tongkang air.

Dari uraian di atas maka dapat disimpulkan bahwa peralatan yang disediakan oleh pelabuhan untuk melayani kapal umumnya terdiri dari kapal pandu, kapal tunda, kapal kepil dan tongkang air dan BBM.

Waktu pelayanan kapal selama berada di pelabuhan mempengaruhi kinerja pelabuhan yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat pelayanan pelabuhan kepada pengguna pelabuhan. Waktu pelayanan kapal dapat dibedakan menjadi dua yaitu pada waktu kapal berada di perairan dan ketika kapal bersandar di tambatan. Komponen waktu pelayanan kapal di perairan yaitu *waiting time* (waktu tunggu), *approach time* ( waktu antara), dan *postpone time* (waktu tertunda). Komponen waktu kapal bersandar

ditambahan atau *berthing time* yaitu *not operating time* (waktu tidak bekerja) dan *berth working time* (waktu kerja di dermaga) yang terdiri dari *iddle time* (waktu bekerja dengan pelan-pelan) dan *effective time* (waktu kerja efektif) [24].

### 2.2.1 Jenis dan Fungsi Peralatan Pelayanan Kapal

Jenis-jenis peralatan pelayanan kapal terdiri dari kapal tunda, kapal pandu, kapal kepil dan tongkang (air/BBM/limbah). Fungsi masing- masing peralatan pelayanan kapal tersebut dijelaskan berikut ini.

#### 1. Kapal Tunda (*Tug Boat*)

Kapal Tunda digunakan adalah jenis *Harbour Tug*, untuk memberikan pelayanan kepada kapal yang mempunyai panjang lebih dari 70 meter yang melakukan gerakan (olah gerak) di perairan wajib pandu, baik yang akan sandar ataupun meninggalkan pelabuhan, dengan cara menggandeng, mendorong dan menarik. Pemanduan kapal tersebut dimaksudkan untuk kepentingan pertimbangan keselamatan pelayaran. Jumlah awak kapal tunda tergantung dari besar kecilnya daya kapal tunda. Kapal tunda *typeheescren* dengan daya 600 s/d 1000 HP minimal diawaki 13 orang yang terdiri dari nahkoda, mualim 1, mualim 2, kepala kamar mesin (KKM), masinis I, masinis II dan juru masak yang masing-masing satu orang serta juru mudi, kelasi dan juru motor yang masing-masing sebanyak dua orang. Para awak kapal tersebut harus mempunyai ijazah keahlian sesuai bidangnya [25].

**Tabel 2.** Kualifikasi ABK Kapal Tunda

No	Nama Jabatan Awak Kapal (ABK)	Jumlah(orang)	Ijazah
1.	Nahkoda	1	ANT IV
2.	Mualim 1	1	ANT V
3.	Mualim 2	1	ANT V
4.	KKM	1	ATT IV
5.	Masinis 1	1	ATT V
6.	Masinis 2	1	ATT V
7.	Juru Mudi	1	ANT D
8.	Juru Motor	1	ATT D
Jumlah		8	

*Tugboat* adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar di pelabuhan, memandu kapal besar pada jalur yang berbahaya,

memperbaiki kapal di laut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api dan *salvage*. Selain itu *tugboat* adalah kapal yang fungsinya menarik atau mendorong kapal-kapal lainnya. Dibedakan atas beberapa jenis antara lain kapal tunda samudra, kapal tunda pelabuhan dan lain-lainnya. Medan yang dilalui *tugboat* biasanya cukup menyulitkan seperti sungai kecil yang berliku dan laut dangkal berkarang hingga laut luas antar pulau besar, sehingga *tugboat* harus melakukan manuver yang baik [26]. Berdasarkan tempat dan kinerja *tugboat*, terdiri 3 jenis *tugboat* :

a. *Seagoing Tug*

Fungsi dan peran dari *tugboat* untuk pelayaran bebas yaitu menarik atau pelayaran bebas yaitu menarik atau mendorong kapal yang tidak memiliki alat penggerak sendiri.

b. *Escort Tug*

Kapal *Tugboat* ini digunakan untuk mengawal kapal besar di sepanjang bagian berbahaya.

c. *Harbour Tugs*

*Harbour Tugs* digunakan di pelabuhan, perairan dalam dan daerah pesisir.

## 2. Kapal Pandu (*Pilot Boat*)

Kapal pandu digunakan sarana transportasi laut bagi petugas pandu untuk naik/turun ke/dari kapal yang dipandu dalam berolah gerak di perairan wajib pandu, perairan pandu luar biasa dan perairan di luar perairan wajib pandu saat masuk/keluar pelabuhan atau sandar dan lepas ke/dari dermaga/tambatan [27].

**Tabel 3.** Kualifikasi ABK Kapal Pandu

No	Nama Jabatan Awak Kapal (ABK)	Jumlah (orang)	Ijazah
1	Juragan	1	ANT V/D
2	Juru Mudi	1	ANT D
3	Juru Motor	1	ATT V/D
4	Juru Minyak	1	ATT V/D
5	Kelasi	1	BST
Jumlah		6	

### 3. Kapal Kepil (*Mooring Boat*)

Kapal kepil adalah sarana bantu penundaan untuk pengepilan yaitu menerima/melepas dari/ke kapal untuk di pasang/dilepaskan dari bolder. Kualifikasi dan jumlah ABK sebanyak 3 orang yang terdiri dari :

- a. Seorang Juragan dengan ijazah minimal ANT D
- b. Seorang Kelasi dengan ijazah minimal *Basic Safety Training (BST)*
- c. Seorang Juru Minyak dengan ijazah minimal ATT D

### 4. Tongkang Air/ BBM

Tongkang Air digunakan untuk mensuplai (melayani kebutuhan) air bersih ke kapal, terutama yang berlabuh di rede atau di tempat lain yang tidak terjangkau jaringan instalasi air bersih. Tongkang BBM digunakan untuk mensuplai (melayani kebutuhan) BBM ke kapal, yang berlabuh di rede, yang bertambat di dermaga atau di tempat lain yang tidak terjangkau jaringan instalasi bunker BBM. Tongkang limbah digunakan untuk memampung limbah cair dari kapal untuk dibawa ke fasilitas limbah/*reception facilities*/separator.

## 2.3 *Internet of Things (IoT)*

*Internet of Things* atau dikenal juga dengan singkatan *IoT*, merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus. Adapun kemampuan seperti berbagi data, *remote control*, dan sebagainya, termasuk juga pada benda di dunia nyata. Contohnya bahan pangan, elektronik, koleksi, peralatan apa saja, termasuk benda hidup yang semuanya tersambung ke jaringan lokal dan global melalui sensor yang tertanam dan selalu aktif. Pada dasarnya, *Internet of Things* mengacu pada benda yang dapat diidentifikasi secara unik sebagai representasi *virtual* dalam struktur berbasis Internet. Istilah *Internet of Things* awalnya disarankan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 dan mulai terkenal melalui Auto-ID Center di MIT. Saat ini *IoT* menjadi salah satu tugas bagi seorang mahasiswa di sebuah perguruan tinggi [28].



mencakup berbagai sumber data dan informasi secara lengkap dan algoritma yang kompleks.

b. Konektivitas

Konektivitas atau biasa disebut dengan hubungan koneksi antar jaringan. Di dalam sebuah sistem *IoT* yang terdiri dari perangkat kecil, setiap sistem akan saling terhubung dengan jaringan, sehingga dapat menciptakan kinerja yang lebih efektif dan efisien. Untuk standar biaya pemasangan jaringan tidak selalu membutuhkan jaringan yang besar dan biaya yang mahal. Anda juga dapat merancang sistem perangkat dengan menggunakan jaringan yang lebih sederhana dengan biaya yang lebih murah.

c. Perangkat Ukuran Kecil

Di dalam perkembangan teknologi masa kini, semakin kecil sebuah perangkat maka akan menghasilkan biaya yang lebih sedikit, namun efektifitas dan skalabilitas menjadi tinggi. Perkembangan di masa yang akan datang, manusia dapat lebih mudah menggunakan perangkat teknologi berbasis *IoT* dengan nyaman, tepat, dan efisien.

d. Sensor

Sensor merupakan unsur yang menjadi pembeda dari *IoT* dengan mesin canggih yang lain. Dengan adanya sensor, mampu untuk mendefinisikan sebuah instrumen, yang mana dapat mengubah *IoT* dari jaringan standar yang cenderung pasif menjadi sistem aktif yang terintegrasi dengan dunia nyata.

e. Keterlibatan Aktif

Banyak mesin modern yang masih menggunakan keterlibatan (*engagement*) secara pasif. Namun, yang menjadi pembeda dari mesin yang lain, *IoT* telah menerapkan metode paradigma aktif dalam berbagai konten, produk, serta layanan yang tersedia.

### 2.3.2 Cara Kerja *Internet of Things (IoT)*

Cara kerja *Internet of Things (IoT)* adalah memanfaatkan sebuah argumentasi dari algoritma bahasa pemrograman yang telah tersusun. Setiap argumen yang terbentuk akan menghasilkan sebuah interaksi yang akan membantu perangkat keras atau mesin dalam melakukan fungsi atau kerja. Mesin tersebut tidak memerlukan bantuan dari manusia dan dapat dikendalikan secara otomatis. Faktor terpenting dari jalannya program tersebut terletak pada jaringan internet yang menjadi penghubung antar sistem dan perangkat



keras. Tugas utama dari manusia adalah menjadi pengawas untuk memonitoring setiap tindakan dan perilaku dari mesin. Kendala terbesar dari pengembangan Internet of things adalah dari sisi sumber daya yang cukup mahal, serta penyusunan jaringan yang sangat kompleks. Biaya pengembangan juga masih mahal dan tidak semua kota atau negara menggunakan *IoT* sebagai kebutuhan primer mereka [30].

### 2.3.3 Contoh Penerapan *Internet of Things (IoT)*

Banyak sekali contoh dari penerapan *IoT* dalam kehidupan sehari-hari yang tanpa anda sadari sangat dekat dengan anda. Berikut merupakan beberapa contoh bidang yang telah menerapkan teknologi *IoT* [31].

#### a. Bidang Kesehatan

Contoh yang pertama dalam bidang kesehatan. Saat ini, banyak teknologi maju yang dapat membantu kinerja dari dokter maupun tenaga medis. *IoT* juga membuat sebuah terobosan baru dalam pengembangan mesin dan alat medis untuk mendukung kinerja dari tenaga medis agar lebih efektif, tepat, dan mengurangi resiko kesalahan. Salah satu contoh dari keberadaan *IoT* dalam dunia kesehatan adalah membantu dalam pendataan detak jantung, mengukur kadar gula, mengecek suhu tubuh, dan sebagainya. Data yang diperoleh akan disimpan dalam penyimpanan data berskala besar atau *Big Data*. *Big data* mampu membaca informasi dan data secara cepat dan efisien. Tenaga medis tidak perlu mencatat secara manual karena semua informasi dapat ditampung dalam data dan akan dikirimkan pada mesin *IoT* untuk menjalankan tugas sesuai dengan algoritma.

#### b. Bidang Energi

Dalam bidang energi, terdapat bervariasi permasalahan yang timbul. Mulai dari polusi atau pencemaran, pemborosan, dan berkurangnya pasokan sumber daya. Oleh karena itu, dengan adanya *IoT* sendiri mampu untuk mengurangi beberapa resiko tersebut. Misalnya saja, dengan penerapan sensor cahaya mampu untuk mengurangi penggunaan energi listrik. Dengan sensor tersebut, mampu menangkap partikel cahaya, sehingga saat cahaya tersebut banyak maka lampu akan mati. Namun, saat tidak ada pasokan cahaya, maka lampu akan otomatis menyala. Sensor juga dapat menerapkan pada fungsi penjadwalan yang dilakukan pada mesin oven, mesin pemanas yang telah terintegrasi dengan jaringan internet. Contoh konkret yang sering

kita jumpai adalah pada *smart TV* yang telah menerapkan *IoT* untuk metode pencarian *channel* disesuaikan dengan pilihan pengguna (*user*).

c. Transportasi

Teknologi cerdas juga telah mencapai bidang transportasi umum. Biasanya, anda selalu mengendarai sebuah mobil sendiri sesuai dengan aturan dan kemampuan berkendara yang telah anda pelajari. Namun, apakah anda sudah mengetahui saat ini ada penemuan terbaru, dimana anda dapat menjalankan mobil tanpa mengemudi sendiri. Mobil tersebut dapat berjalan sendiri sesuai dengan prosedur dan terprogram dengan baik. Jadi, anda dapat merasakan sensasi seperti pada sistem autopilot di pesawat. Tahap pengembangan kendaraan tersebut masih diujicobakan di beberapa negara maju. Selain kendaraan, sistem lalu lintas juga termasuk dalam cakupan internet of things. Dengan *IoT*, mampu untuk mengontrol berbagai sistem lalu lintas saat kondisi macet maupun sepi. Dengan menggunakan *IoT* mampu mengurangi resiko angka kecelakaan dan pelanggaran lalu lintas yang terjadi.

d. Lingkungan Umum

Contoh yang terakhir yaitu dalam bidang lingkungan umum. Segala aktivitas manusia, tumbuhan, maupun hewan dapat dipantau dan diawasi dengan *IoT*. Misalnya untuk melakukan penelitian kualitas air harus dibutuhkan sumber informasi yang akurat dan terpercaya. Dengan *internet of things*, anda mampu untuk mencari sumber data secara valid dan cepat. Tidak hanya itu, cakupan wilayah geografis yang disajikan cukup luas dan dapat menjangkau lebih banyak daerah. Dengan bantuan big data, permasalahan mengenai kecepatan transfer data dan pembacaan data tertutupi dengan baik. Dana yang harus dipersiapkan memang sangat besar. Namun, hasil yang didapat juga semakin besar. Selain itu, *IoT* dapat digunakan sebagai alat pengukur aktivitas vulkanik sehingga mampu memberikan prediksi atau perkiraan lebih akurat mengenai akan terjadinya sebuah bencana alam.

### 2.3.4 Manfaat *Internet of Things (IoT)*

Manfaat *Internet of Things* dapat dibagi menjadi tiga bagian [32].

a. Memudahkan proses konektivitas

Manfaat *IoT* yang pertama adalah memudahkan dalam proses konektivitas antar perangkat atau mesin. Semakin koneksi antar jaringan baik, maka sistem perangkat

dapat berjalan dengan lebih cepat dan fleksibel. Anda mungkin masih banyak yang menggunakan alat konvensional, namun apabila anda mencoba untuk mengoperasikan sebuah sistem secara terpusat hanya melalui perangkat mobile, maka jawabannya yang pasti adalah dengan menggunakan teknologi cerdas.

b. Ketercapaian efisiensi

Manfaat *Internet of Things* yang kedua adalah tercapainya efisiensi kerja. Semakin banyak konektivitas jaringan yang terbentuk, semakin kecil pula jumlah penurunan waktu untuk melakukan tugas. Aktivitas dan kinerja manusia menjadi lebih terbantu dengan adanya *IoT*.

c. Meningkatkan efektivitas monitoring kegiatan

Dengan menggunakan *Internet of Things*, efektivitas untuk mengontrol dan *monitoring* sebuah pekerjaan menjadi lebih mudah. Selain itu, teknologi cerdas juga mampu untuk memberikan rekomendasi atau alternatif pekerjaan yang lebih mudah bagi pengguna.