

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian *Smart Grid*

Smart grid adalah jaringan listrik cerdas yang mampu mengintegrasikan aksi-aksi atau kegiatan dari semua pengguna, mulai dari pembangkit sampai ke konsumen dengan tujuan agar efisien, berkelanjutan, ekonomis dan suply listrik yang aman (IEC, 2010). Minyak bumi yang selama ini menjadi bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik semakin berkurang sehingga perlu menggunakan alternative lain untuk menghasilkan energi listrik tanpa menggunakan minyak bumi.

Melalui implementasi *smart grid* diharapkan dapat meningkatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan sehingga mengurangi emisi karbon. Akan tetapi *smart grid* tidak hanya fokus pada persoalan teknologi tetapi menyangkut kebijakan energi nasional, kebijakan harga, penghematan energi fosil, diversifikasi dan konservasi energi. Demikian disampaikan Syamsir Abduh – anggota unsur pemangku kepentingan Dewan Energi Nasional, pada seminar nasional *smart grid* yang diselenggarakan oleh Puslitbangtek Ketenagalistrikan, Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Puslitbangtek KEBTKE), Badan Litbang ESDM – Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. [5]

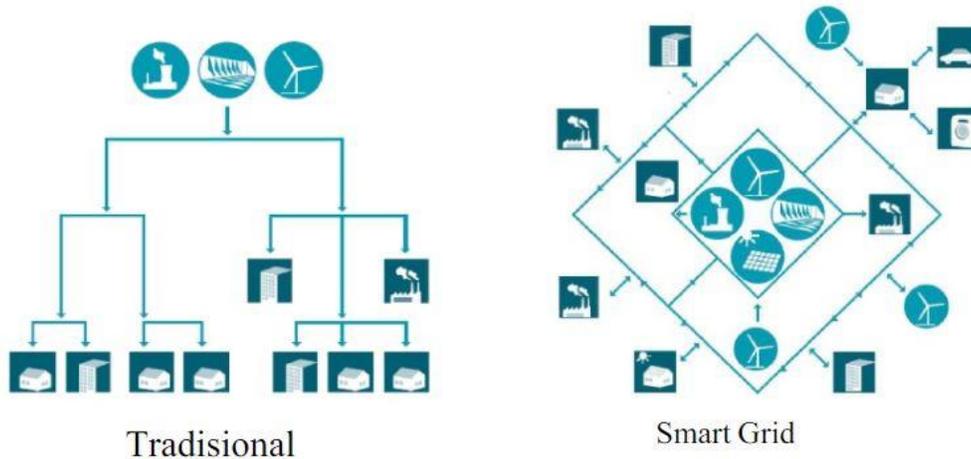
Ini merupakan gambaran dari implementasi *smart grid*:



Gambar 2.1. *Smart Grid*

(Sumber: <http://www.bitlismen.com/all-products/products/smart-grid-trainer/>,
2019)

2.1.1 Perbandingan menggunakan Sistem Pengelolaan Listrik Secara Tradisional dan Konsep *Smart Grid*



Gambar 2.2. Tradisional dan Smart Grid

(Sumber: http://www.academia.edu/8594409/Smart_Grid, 2019)

- Sistem pengelolaan listrik secara tradisional :
 1. Pembangkitannya tersentralisasi
 2. Power flow satu arah
 3. Memiliki keterbatasan akses grid untuk pembangkitan jenis baru
- Konsep *Smart Grid* :
 1. Pembangkitan menggunakan Distributed Generation
 2. Power flow bisa dua arah
 3. Menggunakan renewable energy
 4. Beroperasi berdasarkan data real-time
 5. Akses grid cukup luas
 6. Pelanggan ikut berpartisipasi. [6]

2.1.2 Keuntungan *Smart Grid*

1. *Self healing* : Kemampuan *Smart Grid* untuk mengantisipasi, mendeteksi dan merespon terhadap masalah atau gangguan yang terjadi pada sistem, menggunakan informasi yang dikirim secara *realtime* oleh sensor-sensor yang dipasang di seluruh sistem, *Smart Grid* dapat secara cepat bereaksi untuk mengatasi gangguan yang terjadi. Contohnya bila terjadi gangguan pada suatu sistem distribusi di suatu daerah yang mengakibatkan padamnya listrik di daerah tersebut, maka alat-alat proteksi yang dipasang di daerah tersebut akan mengisolasi gangguan sumber gangguan sehingga tidak mengakibatkan pemadaman yang lebih luas ke daerah yang jauh dari sumber gangguan.
2. *Consumer participation* : konsumen lebih tahu bagaimana cara berhemat listrik dengan pertimbangan informasi *real time* tentang keadaan sistem. Lebih jauh lagi, bila pelanggan memiliki panel surya atau turbin angin, mereka dapat menggunakan sendiri, menyimpan, atau menjual listrik yang dihasilkan kepada produsen. Hal ini dimungkinkan karena tiap-tiap rumah sudah terkoneksi ke dalam sistem secara dua arah, sehingga listrik tidak hanya mengalir dari sistem ke rumah, tapi juga dari rumah ke sistem.
3. *High quality power* : konsep sistem yang lebih stabil dimana losses atau rugi-rugi bisa lebih dihindari (Pambudi C S, 2013). [7]

2.1.3 Komponen *Smart Grid*

Bagian-bagian smart grid terdiri dari bagian integrated communication system, hardware yang modern, modern control & instrumentation (I & C) dan bagian smart software.

Dibawah ini akan dijabarkan masing - masing bagian tersebut :

- a. *Integrated communication system*, pada komponen ini memungkinkan komunikasi terjadi dua arah antara base kontrol, konsumen dan *power plant* serta dapat terintegrasi secara penuh sehingga sistem ini dinamis dan interaktif untuk pertukaran data dan daya secara *real time*. Sistem yang ada pada bagian ini yaitu

copper wiring, fiber optic, power line carrier, teknologi wireless dan broadband over power line technologies.

- b. *Hardware yang Modern*, pada bagian ini yaitu sistem *hardware* yang mendukung sistem *smart grid* harus menggunakan material yang baik, bahan super konduktif yang baik, bagian - bagian pada power plan seperti inverter, turbin dan lain sebagainya untuk mendukung ketersediaan sumber energi. Selain itu bagian terpenting yaitu baterai yang digunakan yang dapat menyimpan energi listrik agar dapat digunakan dilain waktu.
- c. *Modern control & instrumentation (I & C)* , pada bagian ini terdiri dari algoritma untuk mengontrol sistem agar berjalan dengan baik dengan bekerja menganalisa, mendiagnosa dan memprediksi kebutuhan listrik dan ketersediaan listrik sesuai dengan kejadian yang sedang terjadi. Contoh dari sistem ini yaitu penggunaan SCADA, sensor, digital relay dan smart meter. [8]

Pada penelitian ini *Smart Grid Trainer* yang digunakan yaitu jenis *Smart Grid Trainer* tipe WOW 3027. Berikut ini merupakan *Smart Grid Trainer* yang digunakan pada penelitian.



Gambar 2.3. *Smart Grid Trainer*

(Sumber: Dokumen Penulis, 2019)

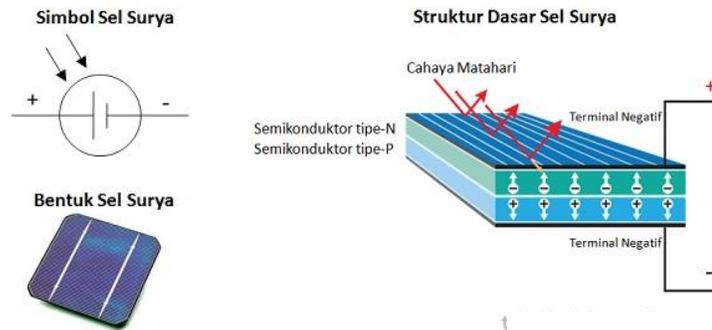
2.2. Pengertian *Solar Cell*

Solar Cell atau Sel Surya adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan Efek Photovoltaic adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau *Solar Cell* sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). [9]

Sel surya (photovoltaic) terjadi akibat lepasnya elektron yang disebabkan adanya cahaya yang mengenai logam. Logam-logam yang tergolong golongan 1 pada sistem periodic unsur-unsur seperti Lithium, Natrium, Kalsium dan Cesium sangat mudah melepaskan elektron valensinya. Selain karena reaksi redoks, elektron valensi logam-logam tersebut juga mudah lepas oleh adanya cahaya yang mengenai permukaan logam tersebut. Diantara logam-logam diatas Cesium adalah logam yang paling mudah melepaskan elektronnya, sehingga lazim digunakan sebagai foto detector.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti diode, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu *solar cell* komersil menghasilkan tegangan sebesar 0,5 sampai 1 volt dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul biasanya terdiri dari 28-36 solar cell dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara parallel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. [10]

Berikut merupakan struktur dasar dan simbol *Solar Cell*.



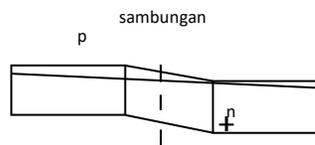
Gambar 2.4. Struktur Dasar dan Simbol *Solar Cell*

(sumber: <https://teknikelektronika.com/wp-content/uploads/2017/02/Pengertian-Sel-Surya-Solar-Cell-dan-Prinsip-Kerjanya.jpg>)

2.2.1. Prinsip Kerja *Solar Cell*

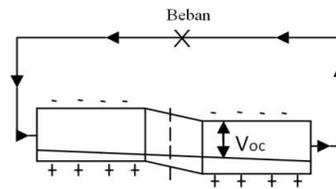
Apabila sinar matahari mengenai *solar cell*, foton-foton cahaya akan menekan sambungan antara semikonduktor tipe *p* dan tipe *n*, sehingga elektron- elektron *solar cell* mendapat tambahan energi dan terjadilah pasangan-pasangan elektron bebas dan hole. Pasangan elektron dan hole tersebut terkumpul pada dua kutub yang berbeda sehingga terdapat beda potensial antara kedua kutub.

Jika *solar cell* tersebut dihubungkan dengan beban luar, maka akan terjadi aliran dari *p* ke *n* melalui beban. Efisiensi *solar cell* berkisar 10 – 15 %, pada temperatur kerja 40° C. Tegangan *solar cell* berkisar 0.5 – 1 volt per *cell*, dengan daya 1 Watt. [11]



Gambar 2.5. *Solar Cell* Dalam Keseimbangan (Tanpa Iluminasi).

(Sumber: [jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf](#), 2019)



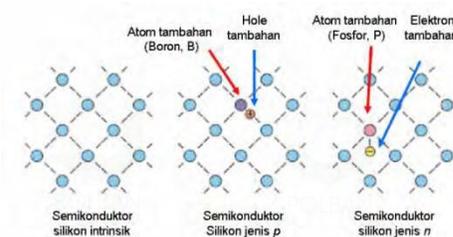
Gambar 2.6. *Solar Cell* Pada Saat Mendapat Iluminasi.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

2.2.2. Proses Konversi

Berdasarkan prinsip kerja solar cell di atas, proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik dihasilkan karena adanya bahan material berupa semikonduktor yang menyusun solar cell. Lebih tepatnya semikonduktor itu tersusun dari dua jenis yaitu jenis n dan jenis p .

Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif. Caranya, dengan menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka kita dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut, sebagaimana diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7. Ilustrasi Semikonduktor Pada *Solar Cell*.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

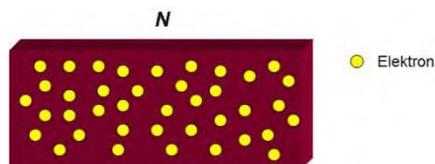
Pada *solar cell* dibuatkan dua jenis semikonduktor. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami (disebut dengan semikonduktor intrinsik). Elektron maupun hole

memiliki jumlah yang sama. Jika terjadi kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.

Semikonduktor intrinsik yang dimaksud ialah silikon (Si). Semikonduktor jenis p , biasanya dibuat dengan menambahkan unsur boron (B), aluminum (Al), gallium (Ga) atau Indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan menambah jumlah hole. Sedangkan semikonduktor jenis n dibuat dengan menambahkan nitrogen (N), fosfor (P) atau arsen (As) ke dalam Si. Dari sini, tambahan elektron dapat diperoleh. Sedangkan, Si intrinsik sendiri tidak mengandung unsur tambahan. Usaha menambahkan unsur tambahan ini disebut dengan doping yang jumlahnya tidak lebih dari 1 % dibandingkan dengan berat Si yang hendak di-doping. [11]

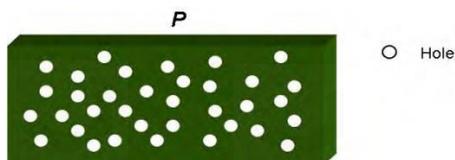
Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan $p-n$ atau dioda $p-n$ (istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi / metallurgical junction) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

Proses 1: semikonduktor belum disambung



Gambar 2.8. Semikonduktor Jenis n (Elektron) yang Belum Disambung.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

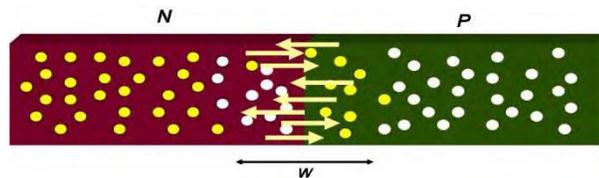


Gambar 2.9. Semikonduktor Jenis p (Proton) yang Belum Disambung.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Proses 2: Sesaat setelah dua jenis semikonduktor disambung.

Dapat dilihat, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p , dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n . Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai jarak tertentu dari batas sambungan awal.

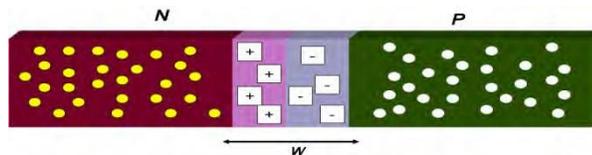


Gambar 2.10. Semikonduktor Setelah Disambung.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Proses 3: Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang.

Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.

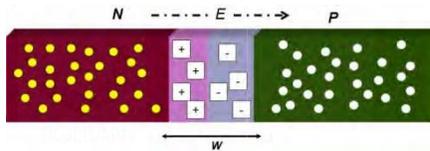


Gambar 2.11. Daerah Depleksi (*Depletion Region*).

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (depletion region) ditandai dengan huruf W . Elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (minority charge carriers) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.

Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n . Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi (nomor 1 di atas).

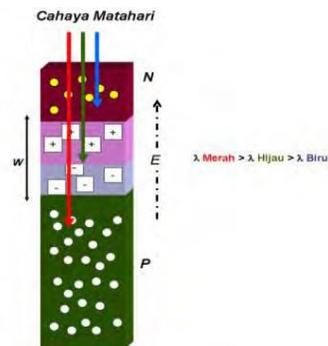


Gambar 2.12. Keseimbangan Semikonduktor p dan n .

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Proses 5: adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E . Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p , dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E . Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain. Pada sambungan $p-n$ inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi.

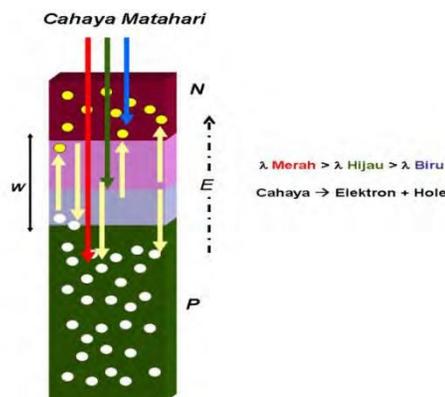
Untuk keperluan *solar cell*, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p , sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan *solar cell* dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p .



Gambar 2.13. Proses Penyerapan Cahaya Matahari Pada *Solar Cell*.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor *n*, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi *elektron-hole* (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.



Gambar 2.14. Proses Fotogenerasi Pada *Solar Cell*.

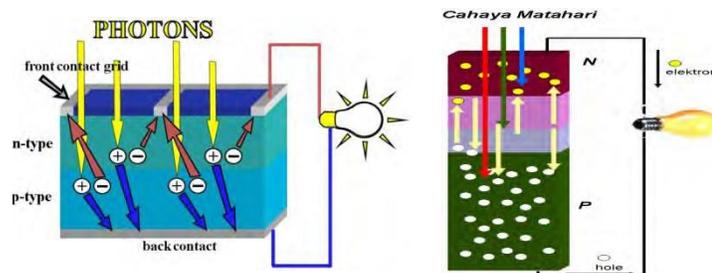
(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lambda” pada gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula.

Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



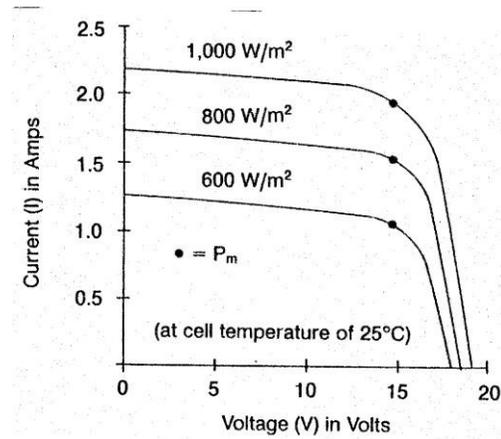
Gambar 2.15. Proses Konversi Energi Matahari Menjadi Listrik.

(Sumber: *jbptpolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Pada umumnya, untuk memperkenalkan cara kerja solar cell secara umum, ilustrasi di atas menjelaskan segalanya tentang proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik. [11]

2.2.3. Efek Perubahan Intensitas Cahaya

Apabila energi cahaya yang diterima solar cell berkurang atau intensitasnya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun.

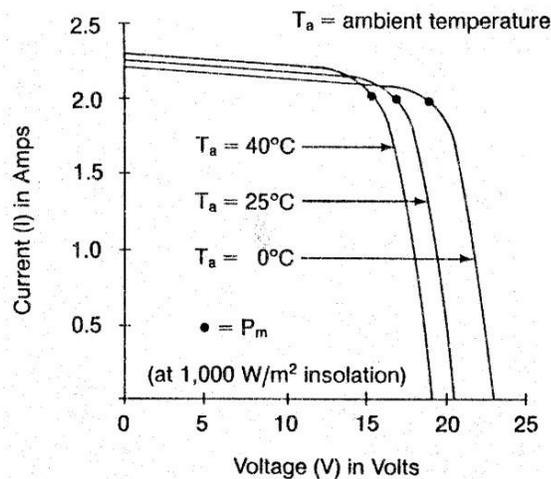


Gambar 2.16. Grafik Efek Perubahan Intensitas

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

2.2.4. Efek Perubahan Temperatur Pada Solar Cell

Solar cell akan beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada solar cell tegangan Voc akan melemah.



Gambar 2.17. Grafik Efek Perubahan Temperatur

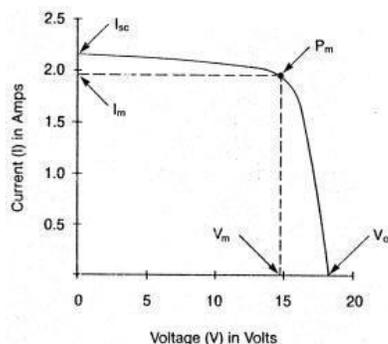
(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

Pengoperasian *solar cell* agar didapatkan nilai yang maksimum juga tergantung pada faktor-faktor antara lain:

1. Orientasi dari rangkaian modul surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel dapat menghasilkan energi maximum. Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke Selatan.
2. *Tilt Angle* (sudut orientasi Matahari) Mempertahankan sinar matahari jatuh sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$. [11]

2.2.5. Proses Energi Listrik

Sebuah solar cell dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar $\pm 0.5 \text{ volt}$ — max. 600 mV pada 2 amp, dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = \text{”1 Sun”}$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per solar cell. Pada grafik I-V *Curve* dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah solar cell beroperasi secara normal. Solar cell akan menghasilkan energi maksimum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maksimum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah maximum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan matahari, karakter ini yang memungkinkan solar cell untuk mengisi accu. [11]



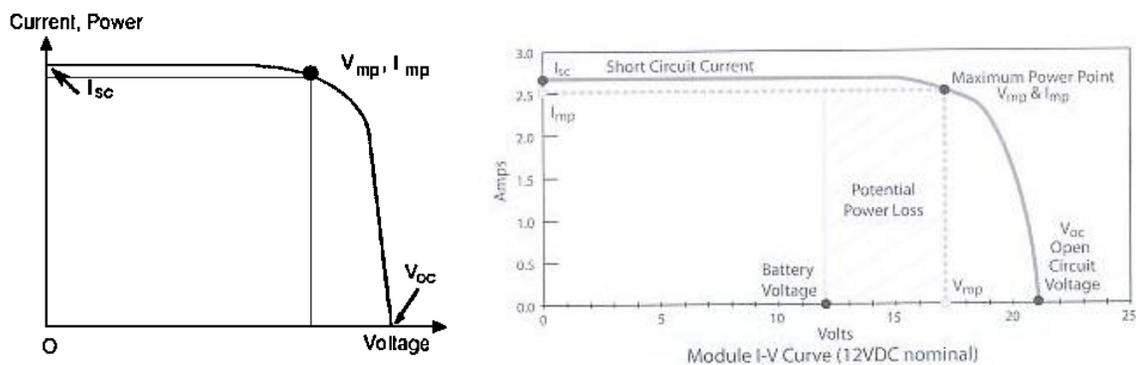
Gambar 2.18. Grafik Kurva I-V.

(Sumber: *jbptppolban-gdl-ginairiant-3325-3-bab2--7.pdf*, 2019)

2.2.6. Mengenal Performansi Solar Cell Panel

Total pengeluaran listrik (wattage) dari *Solar cell* panel adalah sebanding dengan voltase/ tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. *Solar cell* panel dapat menghasilkan arus dari voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dari voltase yang relatif konstan.

Karakteristik output dari *solar cell* panel dapat dilihat dari kurva performansi, disebut *I-V curve*. *I-V curve* menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.



Gambar 2.19. Kurva Karakteristik I-V Solar Cell

(sumber: <http://www.panelsurya.com/index.php/id/panel-surya-solar-cells/solar-cells-panel-guide>, 2019)

Gambar diatas menunjukkan tipikal kurva I-V. Voltase (V) adalah sumbu *horizontal*. Arus (I) adalah sumbu vertikal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *Standar Test Conditions* (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak/ *one peak sun hour*) dan 25° Celcius/ 77° Fahrenheit suhu *solar cell* panel.

Kurva I-V terdiri dari 3 hal yang penting:

1. *Maximum Power Point* (V_{mp} & I_{mp})

Pada kurva I-V, *Maximum Power Point* V_{mp} dan I_{mp} , adalah titik operasi, dimana maksimum pengeluaran/ *output* yang dihasilkan oleh *solar cell* panel saat kondisi operasional. Dengan kata lain, V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur pada saat *solar cell* panel

diberi beban pada 25°Celsius dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva diatas voltase 17 volts adalah V_{mp} , dan I_{mp} adalah 2,5 ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan V_{mp} dan I_{mp} .

Output berkurang sebagaimana voltase menurun. Arus dan daya *output* dari kebanyakan modul *solar cell* panel menurun sebagaimana tegangan/ voltase meningkat melebihi *maximum power point*.

2. *Open Circuit Voltage (Voc)*

Open Circuit Voltage (Voc), adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (*current*). Pada kurva I-V, V_{oc} adalah 21 volt. Daya pada saat V_{oc} adalah 0 watt.

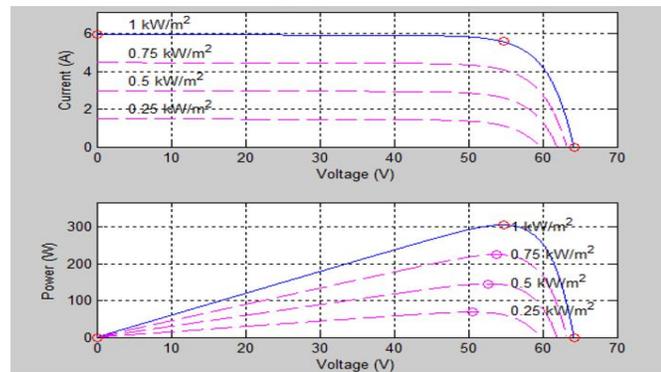
V_{oc} *solar cell* panel dapat diukur pada saat pengujian dalam berbagai macam keadaan. Saat membeli modul, sangat direkomendasikan untuk menguji voltase untuk mengetahui apakah cocok dengan spesifikasi pabrik. Saat menguji voltase dengan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negatif. *Open Circuit Voltage (Voc)* dapat diukur pada pagi hari dan sore hari.

3. *Short Circuit Current (Isc)*

Short Circuit Current (Isc), adalah maksimum *output* arus dari *solar cell* panel yang dapat dikeluarkan (*output*) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau short circuit. Pada kurva I-V diatas menunjukkan perkiraan arus 2,65 A. Daya pada I_{sc} adalah 0 watt.

Short circuit current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul *solar cell* panel. [12]

2.2.7. Kurva Karakteristik I-V dan P-V Berdasarkan Perubahan Radiasi Matahari



Gambar 2.20. Kurva Karakteristik I-V Dan P-V Berdasarkan Perubahan Radiasi Matahari

(Sumber: <http://jnte.ft.unand.ac.id/index.php/jnte/article/download/367/287>, 2019)

Dari Gambar 2.20. dapat dilihat bahwa ketika *irradiance* dari matahari berubah maka daya *solar cell* juga berubah. *Irradiance* dari cahaya matahari akan mencapai maksimum pada tengah hari ketika matahari tepat diatas kepala, akan tetapi jika cuaca mendung maka *irradiance* matahari akan berkurang dikarenakan terhalang oleh sinar matahari. Efisiensi *solar cell* sangat bergantung pada arus dan tegangan seperti terlihat pada gambar diatas, *solar cell* dapat menghasilkan daya maksimum pada tegangan optimum, sehingga pembebanan pada *solar cell* harus direncanakan karena dapat mempengaruhi tegangan *solar cell* yang berakibat efisiensi dari *solar cell* dapat turun.[13]

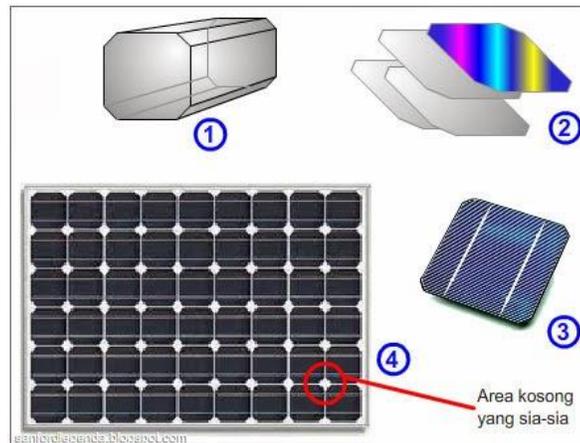
2.2.8. Jenis-Jenis Panel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:

1. *Monocrystalline*

Jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis sehingga akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi sel surya yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya,

sekitar 15% - 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran. Kelemahannya, sel surya jenis ini jika disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari bentuk batangan kristal silikonnya, seperti terlihat pada gambar berikut.



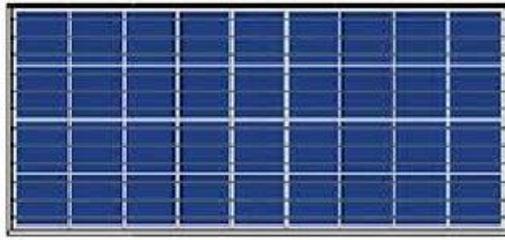
Gambar 2.21. Monocrystalline

(Sumber: <http://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/10/Solar-cells-Jenis-jenis-sel-surya.html>)

2. *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak semurni pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%.

Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada panel surya monocrystalline di atas. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding monocrystalline, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.



Gambar 2.22. *Polycrystalline*

(Sumber: <http://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/10/Solar-cells-Jenis-jenis-sel-surya.html>)

3. *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

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 2.23. *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

(Sumber: <http://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/10/Solar-cells-Jenis-jenis-sel-surya.html>)

Berdasarkan materialnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

a. *Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells.*

Sel surya dengan bahan Amorphous Silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut "stacking" (susun lapis), dimana beberapa lapis Amorphous Silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%.

b. *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%.

c. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.*

Dibandingkan kedua jenis sel surya thin film di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe. [10]

Penggunaan *Solar Cell* dalam pengujian, baterai diisi oleh *solar cell* dimana *solar cell* menghasilkan tegangan dengan cara mengkonversikan energi dari lamp dimmer menjadi tegangan. Tegangan yang dihasilkan solar cell berkisar 14,5 – 19,4 volt DC. *Solar cell* yang saya gunakan yaitu model *solar cell* SMW dengan tipe Monokristal (Mono-crystalline) dengan daya 5w.

Berikut ini merupakan solar cell yang digunakan pada penelitian.



Gambar 2.24. *Solar Cell CSM 5W*

(Sumber: Dokumen Penulis, 2019)

Spesifikasi *Solar Cell* CSM 5W

<i>Max. Power</i>	= 5W
<i>Max. Power Voltage</i>	= 18,5V
<i>Max. Power Current</i>	= 0,28A
<i>Open-Circuit Voltage</i>	= 21,8V
<i>Short-Circuit Current</i>	= 0,29A

2.3 Perhitungan

2.3.1 Efisiensi Konversi Energi

Tegangan yang dibangkitkan tergantung pada luas *solar cell* yang digunakan. Jika dihitung, efisiensi konversi energi adalah sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{V.I}{P.a} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: V= tegangan yang dibangkitkan

I = arus *solar cell*

a = luas *solar cell*

P = rapat daya matahari yang jatuh pada solar cell

2.3.2 Perhitungan Kapasitas Daya Modul Solar Cell

Kapasitas daya modul *solar cell* dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*). Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi PLTS adalah 1,1 (Mark Hankins, 1991 *Small Solar Electric System for Africa* page 68).

[11]

Kapasitas daya modul surya yang dihasilkan dengan menghitung:

1. Penentuan kebutuhan Pada sistem *hybrid* yang dirancang, *solar cell* mensuplai sebesar 30% dari energi keseluruhan. Besar energi beban yang akan disuplai oleh *solar cell* (EA) adalah sebesar:

$$EA = 30\% \times EB \text{ (beban rumah tangga) } \dots\dots\dots(2.3)$$

2. Asumsi rugi-rugi (*losses*) pada sistem dianggap sebesar 15%, karena keseluruhan komponen sistem yang digunakan masih baru (Mark Hankins, 1991: 68). Total energi sistem (ET) yang disyaratkan adalah sebesar:

$$\begin{aligned} ET &= EA + \text{rugi-rugi system} \\ &= EA + (15\% \times EA) \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

3. Kapasitas modul *solar cell* merupakan perhitungan dari beberapa faktor yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari sebesar 3,91 (sumber BMG, BPPT), dan faktor penyesuaian yaitu 1,1 (Liem Ek Bien, 2008: 43).

$$\text{Kapasitas Daya Modul Surya} = \frac{ET}{\text{insolasi matahari}} \times \text{faktor penyesuaian} \dots\dots(2.5)$$

2.3.3. Arus dan Tegangan

Atom ialah sebuah materi yang disusun berdasarkan partikel – partikel yang sangat kecil. Atom terdiri dalam berbagai gabungan yang terdiri dari partikel – partikel sub – atom, susunan tersebut diantaranya adalah elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron merupakan muatan listrik negatif (-) yang paling mendasar. Elektron dalam cangkang keluar suatu atom dinamakan dengan elektron valensi.

Apabila energi kalor, cahaya, atau listrik yang merupakan energi eksternal diberikan pada materi, maka elektron valensinya akan mendapatkan energi dan bisa berpindah ketinggian energi yang lebih tinggi. Ketika energi yang diperoleh telah cukup, sebagian dari elektron valensi terluar akan meninggalkan atomnya, sehingga statusnya berubah menjadi elektron bebas. Dalam hal ini maka gerakan elektron – elektron bebas tersebut yang akan menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Aliran elektron biasa disebut dengan arus (I), dan memiliki satuan ampere. Ketika sebagian

atom kehilangan elektron dan sebagian lainnya memperoleh elektron akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron antar objek. Apabila perpindahan tersebut terjadi, distribusi muatan positif dan negatif pada setiap objek akan berbeda. Objek yang memiliki jumlah elektron yang lebih akan memiliki polaritas listrik negatif (-), sedangkan objek yang kekurangan elektron akan memiliki polaritas listrik positif (+). Besaran muatan listrik akan ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron adalah (Q) dan memiliki satuan *coulomb*. Besarnya muatan $1C = 6,25 \times 10^8$ elektron. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk bekerja akibat dari suatu tarikan ataupun suatu tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatik. Kemampuan melakukan kerja ini dinamakan potensial. Satuan dasar beda potensial adalah volt (V). Satuan inilah yang menyebabkan beda potensial V sering dinamakan sebagai *voltage* atau tegangan. Pada suatu rangkaian terdapat suatu resistansi atau hambatan (R) oleh karena itu pada rangkaian tersebut akan muncul hukum ohm. Hukum ohm mendefinisikan hubungan antara arus (I), tegangan (V), dan resistansi atau hambatan (R). [14]

Berikut merupakan rumus persamaan dari ketiganya :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

I = arus (ampere)

V = tegangan (volt)

R = hambatan (ohm)

2.3.4. Daya

Daya listrik sering diartikan sebagai laju hantaran energi listrik pada sirkuit listrik. Satuan standar internasional daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir dalam satuan waktu (joule/detik). Daya listrik dilambangkan huruf P. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan hukum Joule. Daya pada sumber DC dinyatakan sebagai berikut. [14]

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan

P = Daya (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

2.4. Efisiensi Cahaya

Efisiensi Cahaya Sumber cahaya buatan biasanya dievaluasi dalam hal keefektifitasan cahaya dari sumber, juga dapat disebut keefektifitasan cahaya secara keseluruhan. Hal ini merupakan perbandingan antara fluks cahaya total yang dipancarkan oleh perangkat dan jumlah total input daya listrik. Fungsi cahaya keseluruhan adalah ukuran efisiensi perangkat dengan output disesuaikan untuk menjelaskan kurva respons spektral (dari fungsi luminositas). Bila dinyatakan dalam bentuk berdimensi (misalnya, sebagai fraksi dari keefektifitasan cahaya maksimum), nilai ini dapat disebut efisiensi cahaya keseluruhan atau efisiensi pencahayaan. Perbedaan utama antara efektivitas radiasi cahaya dan efektivitas sumber cahaya adalah bahwa keadaan akhir untuk energi input yang hilang sebagai panas yang keluar atau sumber cahaya sebagai energi selain dari radiasi elektromagnetik. Efisiensi sebuah sumber radiasi, dalam hal ini lampu, adalah properti dari radiasi yang dipancarkan oleh sumber. Efisiensi mencakup keseluruhan sumber, dengan bahasa yang lebih mudah dipahami, bahwa efektivitas sebuah lampu bergantung pada rasio daya yang dipancarkan secara keseluruhan (cahaya tampak dan tidak tampak) dibanding dengan daya yang dikonsumsi. Efektivitas suatu lampu dapat di tulis dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P_{out} = daya listrik yang dikonversi jadi cahaya

P_{in} = daya listrik yang digunakan

Untuk memperoleh nilai mendekati = 1, merupakan hal yang sulit. Oleh karena itu, perkembangan teknologi perlampuan selalu mengacu dalam peningkatan efisiensi

lampu. Walaupun teknologi secara komersial belum tersedia, namun secara teori sumber cahaya ideal dari gas hijau dalam panjang gelombang 555nm memberikan efisiensi 100%. [11]

2.5. Distribusi Cahaya

Distribusi cahaya atau penyebaran cahaya pada suatu ruangan dikenal beberapa istilah antara lain pencahayaan langsung, pencahayaan tidak langsung, pencahayaan semi langsung, pencahayaan semi tak langsung, serta pencahayaan baur. Distribusi cahaya ini ditentukan oleh arah pencahayaan dan efek dari tempat lampu (armature/lumener) lampu. Secara rinci distribusi cahaya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3. Jenis-jenis distribusi cahaya

Ditribusi cahaya	Keterangan
Langsung	90 –100 % sinar ke bawah dan 0-10 % sinar ke atas
Semi langsung	60–90 % sinar ke bawah dan 10 – 40 % sinar ke atas
Tidak langsung	90-100 % sinar ke atas dan 0-10 % sinar ke bawah
Semi tidak langsung	60-90 % sinar ke atas dan 10-40 % sinar ke bawah
Baur	Pencahayaan tak langsung dengan armature/luminar bahan tembus pandang tersebar secara merata

Berkaitan dengan fungsi distribusi cahaya dikenal beberapa istilah yaitu :

- a) Pencahayaan umum (*general lighting*), fungsi untuk penerangan umum secara merata dalam ruangan. Misalnya penerangan untuk ruang kerja atau ruang kelas.
- b) Pencahayaan setempat (*local lighting*), fungsi untuk penerangan setempat khususnya pada lokasi konsentrasi kerja seperti penerangan untuk menggambar, belajar atau untuk kerja khusus seperti tukang jam.
- c) Pencahayaan aksen (*accent lighting*), fungsi untuk memberikan aksen pada ruangan untuk kepentingan estesis pada interior suatu ruangan. Misalnya penempatan lampu pada dinding atau pada kolom suatu ruangan untuk memperindah ruangan.
- d) Pencahayaan gabungan (*ambient lighting*), merupakan pencahayaan keseluruhan dalam ruang yang merupakan gabungan berbagai model pencahayaan yang berfungsi untuk memberikan kesan ruang. [11]

2.6. Intensitas Cahaya

Intensitas Cahaya adalah besaran pokok dalam fisika yang menyatakan daya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada arah tertentu per satuan sudut. Satuan Internasional (SI) untuk intensitas cahaya adalah Candela (Cd). Simbol yang digunakan untuk melambangkan intensitas cahaya adalah I (huruf kapital). Definisi baku untuk 1 Candela adalah intensitas cahaya pada arah tertentu dari sumber cahaya dengan frekuensi 540×10^{12} Hz dengan intensitas radian pada arah $1/682$ watt per steradian. Alat ukur yang sering digunakan untuk mengukur intensitas cahaya antara lain adalah lightmeters, illuminance, luxmeter, dll. [11]

2.7. Jenis Lampu

- a) Lampu Pijar

Lampu pijar menghasilkan cahaya dengan pemanasan listrik pada filamennya yang bertemperatur tinggi. Temperatur ini memberikan radiasi dalam daerah tampak dari spektrum radiasi yang dihasilkan. Komponen utama lampu pijar terdiri dari :

1. Filament

Semakin tinggi temperatur filamen semakin besar juga energi yang jatuh pada spektrum radiasi tampak dan semakin besar pula efikasi dari lampu. Pada saat ini filament yang digunakan adalah tungsten.

2. Bola lampu

Filament suatu lampu pijar ditutup rapat dengan selubung gelas yang dinamakan bola lampu. Bentuk bola (bentuk A), jamur (bentuk E), bentuk lilin dan lustre dengan bola lampu bening, susu atau buram dan dengan warna merah, hijau, biru atau kuning. (lihat SNI No. 04-1704-1989).

3. Gas pengisi

Penguapan filamen dikurang dengan diisinya bola lampu dengan gas inert. Gas ini pada umumnya dipakai adalah nitrogen dan argon.

4. Kaki lampu

Untuk pemakaian umum, tersedia dua jenis yaitu : kaki lampu berulir dan kaki lampu bayonet, yang diidentifikasi dengan huruf E (edison) dan B (Bayonet), selanjutnya diikuti dengan angka yang menyatakan diameter kaki lampu dalam milimeter (E27, E14 dan lain-lain). Bahan kaki lampu dari alumunium atau kuningan.

5. Jenis lampu pijar khusus.

- a. Lampu reflektor.

Lampu pijar yang memiliki reflektor terbuat dari metal tipis pada permukaan dalam dari bola lampu memberikan arah intensitas cahaya yang dipilih.(reflektor bagian dalam tidak boleh rusak atau terkontaminasi)

Lampu ini memiliki dua jenis yaitu:

1. Lampu pressed glass yaitu lampu yang kokoh dan gelas tahan panas. Pada bagian depan gelas mempunyai beberapa jenis pancaran cahaya seperti spot, flood, wide flood. Pemasangan lampu ini dapat dipasang secara langsung sebagai pemasangan instalasi luar, tahan terhadap cuaca.
2. Lampu blown bulb yaitu lampu yang menyerupai Lampu pressed glass, hanya saja dalam pemasangannya hanya bisa dipasang di dalam ruangan.

b. Lampu halogen

Lampu halogen merupakan lampu pijar biasa yang memiliki filament bertemperatur tinggi dan dapat menyebabkan partikel tungsten menguap serta berkondensasi pada dinding bola lampu yang selanjutnya mengakibatkan penghitaman. Lampu halogen berisi gas halogen (iodine, chlorine, chromine) yang dapat mencegah penghitaman pada lampu.

c. Lampu pelepasan gas

Lampu ini memiliki cara kerja yang berbeda dengan lampu pijar. Lampu ini bekerja berdasarkan adanya pelepasan elektron secara terus menerus di dalam uap yang diionisasi. Terkadang dikombinasikan dengan fosfor yang berpendar. Pada umumnya lampu ini tidak dapat bekerja tanpa ballast sebagai pembatas arus pada sirkit lampu.

Lampu pelepasan gas mempunyai tekanan gas tinggi atau tekanan gas rendah. Gas yang sering dipakai adalah merkuri atau natrium. Salah satu contoh lampu pelepasan gas tekanan rendah dan memakai merkuri adalah lampu fluoresen tabung atau lampu TL (*tube lamp*).

d. Lampu LED

merupakan singkatan dari Light Emitting Diode atau dioda cahaya. Suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren, ketika diberi tegangan maju. Gejala ini termasuk bentuk elektro luminesensi. Warna yang dihasilkan bergantung pada bahan semikonduktor yang dipakai, dan bisa juga ultraviolet dekat atau inframerah dekat. Lampu LED memiliki beberapa keunggulan dari lampu konvensional yang sebelumnya sering digunakan seperti neon, bohlam dan lainnya. Oleh karena itu, lampu LED biasa disebut sebagai lampu masa depan, dan mulai digunakan dari sekarang. [11]

2.8. Lamp Dimmer

Lamp Dimmer adalah lampu yang bisa diatur tingkat keterangan cahaya lampu yang menyala, mulai dari yang redup hingga ke remang-remang sampai ke nyala lampu yang terang. Berikut merupakan *Lamp Dimmer* yang digunakan pada penelitian:



Gambar 2.25. *Lamp Dimmer*
(Sumber: Dokumen Penulis, 2019)

Lamp Dimmer yang digunakan ialah untuk jaringan listrik PLN 220VAC dengan daya 150 Watt. Untuk mengatur terang redupnya intensitas pancaran cahaya *Lamp Dimmer* dapat dilakukan dengan mengatur tuas potensiometer pada bagian belakang *Lamp Dimmer*. Pada prinsipnya *Lamp Dimmer* ini mengatur tegangan yang diberikan untuk menyalakan lampu pijar menggunakan TRIAC sebagai komponen utama. Semakin besar tegangan gate TRIAC maka semakin kuat intensitas cahaya yang dihasilkan.

2.9. Multimeter

Multimeter adalah alat ukur yang dipakai untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik, dan tahanan (resistansi). Itu adalah pengertian multimeter secara umum, sedangkan pada perkembangannya multimeter masih bisa digunakan untuk beberapa fungsi seperti mengukur temperatur, induktansi, frekuensi, dan sebagainya. Ada juga orang yang menyebut multimeter dengan sebutan AVO meter, mungkin maksudnya A (ampere), V(volt), dan O(ohm).

Multimeter dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu multimeter analog dan digital:

2.9.1. Multimeter Analog

Multimeter Analog atau Multimeter Jarum adalah alat pengukur besaran listrik yang menggunakan tampilan dengan jarum yang bergerak ke *range-range* yang kita ukur dengan probe. Analog tidak digunakan untuk mengukur secara detail suatu besaran nilai komponen tetapi kebanyakan hanya di gunakan untuk baik atau jeleknya komponen pada waktu pengukuran atau juga di gunakan untuk memeriksa suatu rangkaian apakah sudah tersambung dengan baik sesuai dengan rangkaian blok yang ada Multimeter analog menggunakan peraga jarum moving coil dan besaran ukur berdasarkan arus (elektronis dan non elektronis).

Berikut ini merupakan gambar dari Multimeter Analog:



Gambar 2.26. Multimeter Analog
(Sumber: Dokumen Penulis, 2019)

2.9.2 Multimeter Digital

Multimeter digital atau sering juga disebut sebagai digital multimeter sama merupakan jenis multimeter yang telah menggunakan display digital sebagai penampil hasil ukurnya. Hasil ukur yang ditampilkan pada multimeter digital merupakan hasil

yang telah sesuai, sehingga tidak perlu dilakukan lagi perhitungan antara hasil ukur dan batas ukur. [15]

Berikut ini merupakan gambar dari Multimeter Digital:



Gambar 2.27. Multimeter Digital

(sumber: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Digital_Multimeter_Aka.jpg, 2019)

2.10. Lux Meter

Lux Meter merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur kuat penerangan (tingkat penerangan) pada suatu area atau daerah tertentu. Alat ini didalam memperlihatkan hasil pengukurannya menggunakan format digital. Alat ini terdiri dari rangka, sebuah sensor dengan sel foto dan layar panel. Sensor tersebut diletakan pada sumber cahaya yang akan diukur intensitasnya. Cahaya akan menyinari sel foto sebagai energi yang diteruskan oleh sel foto menjadi arus listrik. Makin banyak cahaya yang diserap oleh sel, arus yang dihasilkan pun semakin besar.

Sensor yang digunakan pada alat ini adalah photo diode. Sensor ini termasuk kedalam jenis sensor cahaya atau *optic*. Sensor cahaya atau *optic* adalah sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias

cahaya yang mengenai suatu daerah tertentu. Kemudian dari hasil dari pengukuran yang dilakukan akan ditampilkan pada layar panel.

Berbagai jenis cahaya yang masuk pada luxmeter baik itu cahaya alami ataupun buatan akan mendapatkan respon yang berbeda dari sensor. Berbagai warna yang diukur akan menghasilkan suhu warna yang berbeda, dan panjang gelombang yang berbeda pula. Oleh karena itu pembacaan yang ditampilkan hasil yang ditampilkan oleh layar panel adalah kombinasi dari efek panjang gelombang yang ditangkap oleh sensor photo diode.

Pembacaan hasil pada Luxmeter dibaca pada layar panel LCD (liquid Crystal digital) yang format pembacaannya pun memakai format digital. Format digital sendiri didalam penampilannya menyerupai angka 8 yang terputus-putus. LCD pun mempunyai karakteristik yaitu Menggunakan molekul asimetrik dalam cairan organic transparan dan orientasi molekul diatur dengan medan listrik eksternal.

Hampir semua lux meter terdiri dari rangka sebuah sensor dengan sel foto, dan layer panel. Sensor diletakkan pada sumber cahaya. Cahaya akan menyinari sel foto sebagai energi yang diteruskan oleh sel foto menjadi arus listrik. Makin banyak cahaya yang diserap oleh sel, arus yang dihasilkan lebih besar. [15]

Berikut merupakan gambar dari Lux Meter:



Gambar 2.28. Lux Meter

(sumber: Dokumen Penulis, 2019)