

BAB II

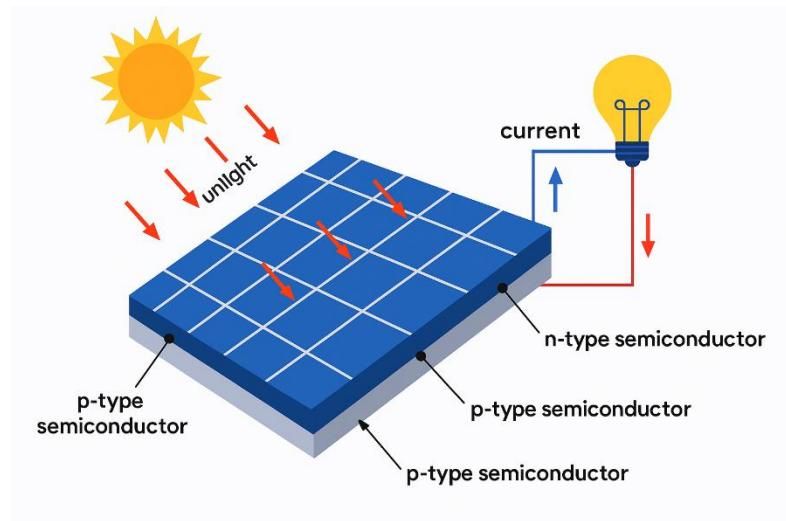
LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau biasa disingkat dengan PLTS merupakan sebuah sistem yang mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Dalam suatu panel surya, terdapat komponen sel surya yang berfungsi untuk menyerap cahaya matahari yang di dalamnya terdiri dari berbagai komponen *photovoltaic*, komponen inilah yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Secara sederhana, sistem kerja dari PLTS ini yaitu ketika sel surya menyerap cahaya matahari akan timbul pergerakan antara elektron di sisi positif dan sisi negatif. Keluaran arus pada sel surya merupakan arus DC atau searah, sehingga dibutuhkan komponen inverter sebelum digunakan ke peralatan-peralatan listrik guna mengubah arus listrik DC menjadi arus AC atau bolak-balik (Alkholish, 2023).

2.1.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya *fotovoltaik* dan energi surya termal.



Gambar 2.1 Prinsip kerja panel surya (Burhandono et al., 2022)

Gambar 2.1 menunjukkan cara operasi panel surya menggunakan prinsip p-n junction. Panel surya konvensional beroperasi berdasarkan prinsip p-n junction, yakni perpotongan antara dua jenis semikonduktor: tipe-p dan tipe-n. Struktur semikonduktor ini terdiri dari ikatan atom, di mana terdapat elektron sebagai komponen dasar. Semikonduktor tipe-n memiliki kelebihan elektron (dengan muatan negatif), sementara semikonduktor tipe-p memiliki kelebihan *hole* (dengan muatan positif) dalam struktur atomnya. Keadaan kelebihan elektron dan *hole* ini dapat dihasilkan melalui doping bahan dengan atom dopant. Sebagai contoh, bahan silikon tipe-p diperoleh dengan mendorong atom boron ke dalam silikon, sedangkan silikon tipe-n dihasilkan dengan mendorong atom fosfor ke dalam silikon.

Ilustrasi di atas menggambarkan perpotongan semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Peran dari p-n junction ini adalah menciptakan medan listrik yang memungkinkan elektron dan *hole* diekstraksi oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika dua semikonduktor tipe-p dan tipe-n bertemu, elektron bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p, menghasilkan kutub positif pada semikonduktor tipe-n dan kutub

negatif pada semikonduktor tipe-p. Hasil dari pergerakan elektron dan *hole* ini adalah pembentukan medan listrik. Ketika cahaya matahari mengenai struktur p-n *junction* ini, elektron akan didorong dari semikonduktor ke kontak negatif, menghasilkan arus listrik yang bisa dimanfaatkan. Di sisi lain, *hole* akan bergerak ke kontak positif untuk menunggu kedatangan elektron, seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.1. (Julisman et al., 2017)

2.1.2 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Berdasarkan jenisnya, terdapat tiga jenis sistem PLTS diantaranya PLTS *off-grid*, PLTS *on-grid*, dan *Hybrid* PLTS. Sistem tenaga surya ini dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan konsumen.

1. PLTS *Off-Grid*

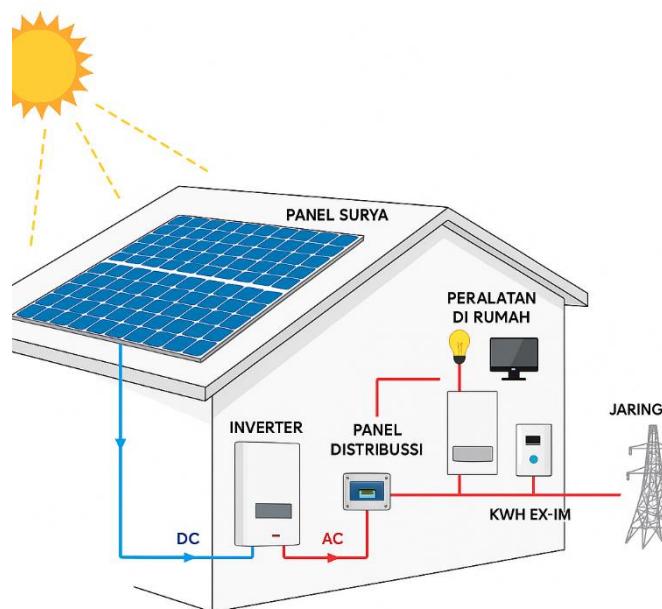
Jenis PLTS ini umumnya digunakan di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan PLN, namun ada juga yang bisa digunakan di daerah perkotaan yang telah terjangkau oleh jaringan PLN. PLTS *off-grid* juga biasa disebut dengan *Stand Alone Photovoltaic System* yaitu pembangkit listrik yang memiliki bersumber utama hanya dari energi cahaya matahari.



Gambar 2.2 PLTS *Off-Grid* (Syahputra et al., 2022)

2. PLTS *On-Grid*

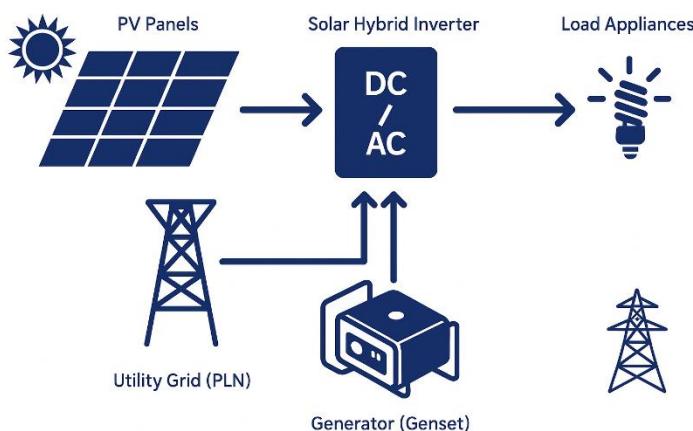
Berbeda dengan PLTS *Off-Grid*, PLTS *On-Grid* yaitu sistem pembangkit listrik tenaga surya yang rangkaianya terhubung dengan PLN. Dalam pengoperasiannya PLTS *on-grid* ini menyuplai seluruh beban sistem pada siang hari. PLTS jenis ini tidak menggunakan penyimpan arus listrik atau batre sehingga ketika malam hari sumber daya listrik kembali menggunakan jaringan PLN, sehingga pada siang hari penggunaan listrik dapat dihemat.



Gambar 2.3 PLTS *On-Grid* (Rezky Ramadhana et al., 2022)

3. PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* adalah pembangkit listrik yang menggabungkan beberapa sumber energi yang berbeda. Jenis PLTS ini merupakan alternatif dari sistem pembangkit listrik yang paling tepat digunakan di daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh PLN. Umumnya jenis PLTS ini memanfaatkan energi listrik baru terbarukan sebagai sumber utamanya yang kemudian dikombinasikan dengan sumber lainnya sebagai energi sekunder, seperti genset.



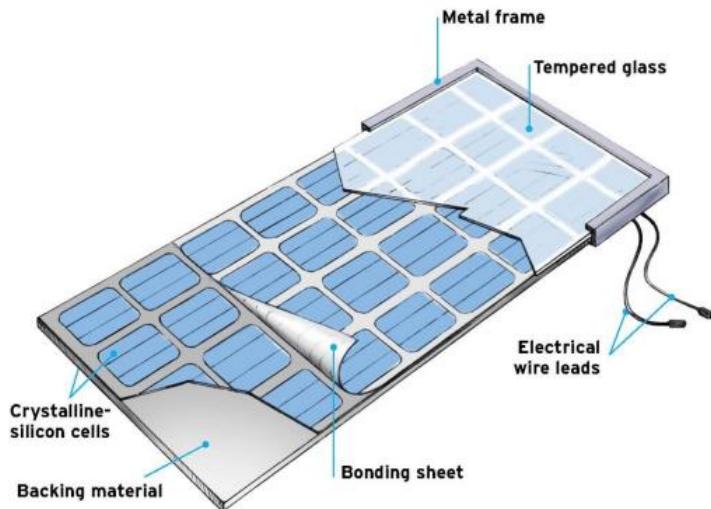
Gambar 2.4 PLTS *On-Grid* (Elfridus et al., 2022)

2.1.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Kapasitas dari komponen utama yang digunakan ditentukan berdasarkan desain dan tipe PLTS yang akan dibangun. Pada sistem PLTS sangat penting untuk menghitung kapasitas dari komponen yang akan digunakan atau *sizing*, hal ini dikarenakan jika kapasitas dari komponen terlalu kecil, maka sistem tidak bisa untuk memenuhi kebutuhan energi yang diinginkan (Sianipar, 2017)

1. Panel Surya

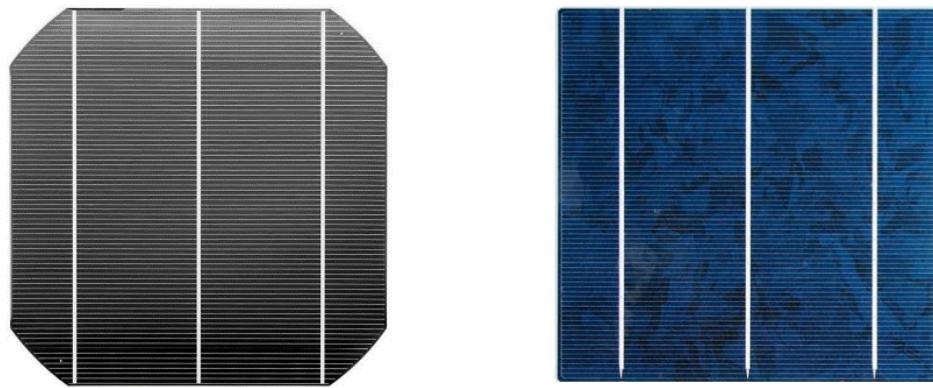
Panel surya merupakan komponen penting dalam PLTS yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dikenal dengan prinsip kerja efek PV (*photovoltaic*). Panel surya terdiri dari sel-sel surya yang disusun hingga berbentuk panel.



Gambar 2.5 Bagian-bagian Panel Surya (Wibowo, 2022)

Umumnya panel surya terbuat dari jenis material *crystalline* dan *thin film*.

Crystalline terbuat dari bahan *silicone* dan terdapat dua tipe, yaitu *Monocrystalline* yang memiliki efisiensi sebesar 14-16% dan *Polycrystalline* yang memiliki efisiensi sebesar 13-15%. Sedangkan *Thin Film* terbuat dari bahan kimia dengan rata-rata efisiensi sebesar 6.5-8% (Burhandono et al., 2022).



(a) *Monocrystalline*

(b) *Polycrystalline*

Gambar 2.5 Tipe-tipe panel surya (Wibowo, 2022)

Tabel 2.1 Karakteristik modul *monocrystalline* dan *polycrystalline*

<i>Monocrystalline</i>	<i>Polycrystalline</i>
Terbuat dari silicon tunggal	Terbuat dari campuran-campuran silicon
Lebih mahal	Lebih murah
Lebih efisien pada suhu tinggi	Tidak efisien jika suhu terlalu tinggi
Rentang $6-9\text{m}^2/\text{kWp}$	Rentang $8-9\text{m}^2/\text{kWp}$
Berwarna kehitaman	Bewarna kebiruan
Proses pembuatan lebih rumit	Pembuatan tidak serumit <i>monocrystalline</i>

2. Solar Charger Controller (SCC)

Solar Charger Controller merupakan salah satu komponen penting yang ada dalam instalasi pembangkit listrik tenaga surya. Dengan adanya *charger controller* sistem tenaga surya dapat berjalan secara efisien dan aman. Daya yang dihasilkan oleh suatu panel surya bergantung pada beberapa variabel seperti cuaca, suhu dan tingkat cahaya matahari, *charge controller* memastikan daya keluaran tetap stabil dan optimal. Ketika *charger controller* terhubung ke baterai SCC dapat mencegah agar pengisian energi ke baterai tidak berlebihan dengan cara membatasi jumlah pengisian daya ke baterai. SCC juga mencegah pengurasan baterai dengan cara mematikan sistem jika daya yang tersimpan di baterai berada di bawah 50%, kemudian melakukan pengisian dengan voltase yang sesuai. Dengan kata lain, SCC membantu menjaga baterai agar lebih awet dan sehat.

3. Inverter

Inverter adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus searah atau DC menjadi arus bolak-balik atau AC. Arus keluaran dari panel surya berupa arus DC sehingga diperlukan *inverter* untuk mengubah arusnya menjadi arus bolak-balik sebelum dihubungkan ke beban. *Inverter* tenaga surya terdiri dari pengontrol muatan surya dan beberapa rangkaian switching.

4. Baterai

Baterai adalah suatu alat yang dapat menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dihubungkan ke beban, hal ini dikarenakan daya keluaran dari PLTS sangat bergantung pada radiasi matahari sehingga ketika radiasi matahari dalam keadaan rendah diperlukan baterai sebagai sumber daya.

2.1.4 Kapasitas Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Agar sistem PLTS dapat bekerja dengan maksimal dan tahan lebih lama, maka diperlukan perhitungan untuk menentukan kapasitas masing-masing komponen dari PLTS. Berikut perhitungan kapasitas komponen dari PLTS:

1. Menghitung *Area Array* (PV Area)

Area PV dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PV\ Area = \frac{E_L}{G_{AV} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (2.1)$$

Dimana:

E_L = Pemakaian Energi (kWh/hari)

G_{AV} = isolasi harian rata-rata matahari (kWh/m²/hari)

η_{PV} = efisiensi panel surya

η_{out} = efisiensi inverter

2. Menghitung daya yang dibangkitkan PLTS (*watt peak*)

Untuk menghitung kapasitas energi listrik dari PLTS dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_{Watt\ Peak} = area\ array \cdot PSI \cdot \eta_{PV} \quad (2.2)$$

Dimana:

$$PSI\ (Peak\ Solar\ Insolation) = 1000\ W/m^2$$

$$\eta_{PV} = \text{efisiensi panel surya}$$

3. Jumlah panel surya

Untuk menentukan spesifikasi SCC yang dibutuhkan, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$jumlah\ panel\ surya = \frac{P_{Wattpeak}}{P_{MPP}} \quad (2.4)$$

Dimana:

$$P_{Wattpeak} = \text{Daya yang dibangkitkan}$$

$$P_{MPP} = \text{Daya maksimum keluaran panel surya (W)}$$

$$N_{SCC} = \frac{\text{Total Wp}}{\text{Maks. output SCC}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$$I_{SCC} = \text{jumlah SCC}$$

$$\text{Total Wp} = \text{jumlah daya yang dihasilkan panel}$$

$$\text{Maks. Output SCC} = \text{daya keluar maksimal SCC}$$

4. Kebutuhan Baterai

Kapasitas baterai dinyatakan dalam *Ah (ampere hour)*, baterai pada sistem *PLTS* berguna sebagai alat untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya dan di distribusikan ke beban-beban melalui inverter. Energi didalam baterai tidak dapat

digunakan 100%. Pada inverter, potensi kehilangan energi dapat mencapai 5% sehingga kebutuhan baterai harus lebih besar daripada beban.

2.2 *Shading*

PLTS sangat bergantung terhadap sinar matahari sebagai sumber energinya. Jika terdapat berbagai objek yang lebih tinggi dari modul sel surya sehingga menutupi modul tersebut seperti pohon, gedung, atap rumah, dan sebagainya, kondisi tersebut dapat membentuk bayangan dan dinamakan dengan *shading*. Dengan adanya *shading* dapat mengurangi kinerja dari modul sel surya. Jika satu sel surya terkena bayangan, maka sel surya yang lainnya juga akan mengalami penurunan (Saputra et al., 2023).

2.3 Pencahayaan

Pencahayaan adalah penerangan yang ditempatkan di fasilitas umum maupun fasilitas pribadi yang bertujuan untuk memudahkan aktivitas dan memberikan kenyamanan. Pencahayaan dapat didefinisikan sebagai jumlah cahaya yang diterima pada bidang permukaan. Pencahayaan yang baik dapat membantu orang dalam melihat objek-objek yang dikerjakannya secara tepat dan jelas, sehingga intensitas cahaya perlu untuk diatur agar dapat menghasilkan kesesuaian kebutuhan penghilatan dalam ruangan berdasarkan jenis-jenis aktivitasnya (Natsir, 2021).

2.3.1 Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami merupakan cahaya yang berasal dari objek cahaya alami seperti matahari, bulan, dan bintang dalam suatu penerangan. Karena berasal dari alam, cahaya alami bersifat tidak menentu, tergantung pada iklim, musim, dan cuaca. Karena bersumber dari alam, cahaya alami bersifat tidak menentu, bergantung pada cuaca, musim, dan iklim pada suatu daerah atau negara. Di antara sumber cahaya alami

yang ada, matahari merupakan sumber cahaya yang memiliki cahaya yang paling besar sehingga keberadaanya sangat bermanfaat dalam penerangan dalam ruangan. (Ragilyani & Dewi, 2021)

2.3.2 Pencahayaan buatan

Pencahayaan buatan adalah pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya selain cahaya alami. Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami atau saat pencahayaan alami tidak mencukupi (Nurintan & Rostika, 2019). Fungsi pokok pencahayaan buatan baik yang diterapkan secara tersendiri maupun yang dikombinasikan dengan pencahayaan alami adalah sebagai berikut:

1. Menciptakan lingkungan agar manusia melihat dengan jelas serta tugas dan kegiatan visual dapat terlaksana dengan mudah dan tepat
2. Menciptakan agar siswa berjalan dan bergerak dengan mudah dan aman
3. Tidak membuat kenaikan suhu udara yang berlebih di ruang kelas
4. Menciptakan cahaya yang seragam dengan intensitas yang tetap, tidak berkedip, tidak silau, tidak ada bayangan.
5. Meningkatkan lingkungan agar siswa nyaman dan meningkatkan prestasi
6. Sejauh mana cahaya buatan akan digunakan, baik untuk membantu maupun untuk menambah cahaya alami.
7. Tingkat penerangan yang diinginkan, baik untuk penerangan di tempat yang memerlukan ketelitian tertentu atau hanya untuk penerangan umum.
8. Warna yang akan digunakan pada ruangan dan efek warna dari cahaya

Penggunaan penerangan buatan yang sering digunakan secara umum terdapat 3 macam yaitu:

1. Penerapan Pencahayaan Merata

Dalam sistem ini, cahaya didistribusikan secara merata ke seluruh ruangan. Sistem pencahayaan secara merata baik untuk digunakan pada ruangan yang tidak memerlukan visual khusus. Dalam sistem ini armatur diposisikan secara merata di langit-pangit.

2. Penerapan Pencahayaan Terarah

Dalam sistem ini seluruh ruangan diterangi dengan arah tertentu. Sistem ini baik digunakan untuk pameran dikarenakan objek akan dapat terlihat dengan jelas. Pencahayaan yang terarah ke objek ini berfungsi sebagai sumber cahaya tambahan untuk ruangan di sekitarnya dengan mekanisme pemantul cahaya. Sistem ini juga dapat dikombinasikan dengan sistem penerapan pencahayaan merata karena dapat mengurangi efek buram yang dapat ditimbulkan oleh pencahayaan merata.

3. Penerapan pencahayaan setempat

Dalam sistem ini cahaya difokuskan pada suatu objek tertentu seperti tempat kerja yang membutuhkan visual yang tinggi.

2.4 Jenis-Jenis Lampu

Berikut ini merupakan jenis-jenis lampu yang sering digunakan di Indonesia (Priyandono, 2013):

2.4.1. Lampu Pijar

Bola lampu jenis ini menghasilkan panas dan kecerahan dengan bantuan filamen logam tungsten. Prinsip kerja dari lampu pijar adalah dengan cara kawat filamen di aliri dengan arus listrik yang melewatinya hingga suhu tinggi dan dapat

menyala. Lampu pijar memiliki kekurangan yaitu boros energi, filamen yang mudah putus dikarenakan panas yang dihasilkan cukup besar, dan masa pakai yang pendek sekitaran 700 hingga 1000 jam.

Pada zaman sekarang lampu ini banyak digunakan untuk kebutuhan estetika dan penernekan untuk menciptakan suasana yang hangat. Contohnya untuk menetasan telur ayam dapat membantu proses pengeraman telur.

2.4.2. Lampu *Tubular Lamp*

Lampu TL (*Tubular Lamp*) atau sering disebut lampu *neon* adalah jenis lampu pelepasan gas yang menggunakan tabung sebagai perangkat utamanya. Lampu TL berisi uap raksa bertekanan rendah di dalam tabung tersebut. Ketika arus listrik mengalir melalui lampu TL, elektroda yang terpasang pada ujung tabung, yang biasanya berupa kawat lilitan pijar, akan menjadi panas dan menyebabkan penguapan raksa dalam tabung. Setelah uap raksa terbentuk, ionisasi terjadi saat arus listrik melewati gas raksa. Proses ini menghasilkan radiasi *ultraviolet* (UV). Lalu, lapisan fosfor yang ada di dalam tabung mengubah radiasi *ultraviolet* menjadi cahaya tampak yang dapat dilihat oleh mata manusia.

Selain itu, lampu TL juga menggunakan komponen lain seperti *ballast* atau *starter* untuk mengatur aliran listrik yang diperlukan dalam lampu tersebut. *Starter* berfungsi untuk memberikan tegangan awal agar lampu dapat menyala, sedangkan ballast berperan dalam mengatur aliran listrik yang stabil untuk menjaga lampu tetap menyala. Lampu TL umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti penerangan ruangan, penerangan jalan, dan penerangan industri.

2.4.3. Lampu Hemat energi

Lampu hemat energi, juga dikenal sebagai lampu energi efisien atau lampu pijar kompak (CFL), adalah jenis lampu yang dirancang untuk menghasilkan cahaya yang sama dengan lampu pijar tradisional, tetapi dengan menggunakan energi yang lebih sedikit. Berikut adalah contoh gambar lampu hemat energi:

Lampu hemat energi menggunakan teknologi pelepasan gas untuk menghasilkan cahaya. Mereka menggunakan tabung *fluoresen* yang berisi campuran gas, seperti *argon* dan uap raksa, serta lapisan fosfor untuk mengubah radiasi *ultraviolet* menjadi cahaya tampak.

Keuntungan utama lampu hemat energi adalah efisiensi energi yang jauh lebih tinggi daripada lampu pijar tradisional. Lampu ini dapat menghasilkan cahaya yang sama dengan menggunakan sekitar 75% energi yang lebih sedikit. Selain itu, lampu hemat energi memiliki umur pakai yang lebih lama, sehingga mengurangi biaya penggantian lampu.

2.4.4. Lampu LED

Lampu *LED* merupakan singkatan dari *Light Emitting Diode* yaitu jenis lampu yang berfungsi sebagai sirkuit semi konduktor dan menghasilkan cahaya ketika dialiri arus listrik. *LED* tidak menghasilkan panas karena tidak mengandung merkuri. Lampu *LED* memiliki ketahanan jauh lebih lama daripada lampu tabung biasa, dengan daya tahan sekitar 60 kali lebih lama daripada lampu pijar dan 10 kali lebih lama daripada lampu TL. Namun, harga lampu *LED* umumnya lebih mahal dibandingkan lampu lainnya.

LED memiliki karakteristik berbeda tergantung pada warna yang dihasilkan. Semakin tinggi arus yang mengalir pada *LED*, semakin terang cahaya yang dihasilkan.

Namun, perlu diperhatikan bahwa arus yang diperbolehkan untuk *LED* biasanya berkisar antara 10mA hingga 20mA, dan tegangannya berkisar antara 1,6V hingga 3,5V tergantung pada karakteristik warna yang dihasilkan. Jika arus yang mengalir melebihi 20mA, *LED* dapat terbakar. Oleh karena itu, resistor digunakan sebagai penghambat arus untuk mencegah *LED* terbakar.

Untuk memudahkan dalam membandingkan tingkat efisiensi dari jenis-jenis lampu di atas, dapat dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 2.2 Perbandingan efisiensi lampu

Lampu Pijar	<i>Tubular Lamp</i>	Lampu Hemat Energi	Lampu <i>LED</i>
Sekitar 8 – 10% % energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya, sisanya energi panas	Sekitar 10 – 15% energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya	80% lebih hemat energi dibandingkan dengan lampu pijar	Sekitar 50% energi listrik yang diubah menjadi energi cahaya

2.5 Tingkat Pencahayaan Minimum

Menurut Badan Standardisasi Nasional tingkat pencahayaan yang direkomendasikan di Indonesia berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dimana tingkat pencahayaan dan renderasi warna tergantung dari fungsi ruangan tersebut. Menurut SNI 03-6575-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Sekolah, untuk data mengenai tingkat pencahayaan minimum

dan renderasi warna yang direkomendasikan sesuai dengan fungsi ruangannya dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Tingkat pencahayaan minimum dan renderasi warna

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Renderasi warna	Keterangan
Rumah Tinggal			
Teras	60	1 atau 2	
Ruang Tamu	120~250	1 atau 2	
Ruang Makan	120~250	1 atau 2	
Ruang Kerja	120~250	1	
Kamar Tidur	120~250	1 atau 2	
Kamar Mandi	250	1 atau 2	
Dapur	250	1 atau 2	
Garasi	60	3 atau 4	
Perkantoran			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang Kerja	350	1 atau 2	
Ruang Komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor.
Ruang Rapat	300	1 atau 2	
Ruang Gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Gudang Arsip	150	3 atau 4	
Ruang Arsip Aktif	300	1 atau 2	

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Renderasi warna	Keterangan
Lembaga Pendidikan			
Ruang Kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Laboratorium	500	1	
Ruang Gambar	750	1	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Kantin	200	1	
Hotel dan Restauran			
Lobby, Koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertikal sangat penting untuk menciptakan suasana/kesan ruang yang baik.
Ballroom/Ruang Sidang	200	1	Sistem pencahayaan harus di rancang untuk menciptakan suasana yang sesuai. Sistem pengendalian CsitchingD dan CdimmingD dapat digunakan untuk memperoleh berbagai e!ek pencahayaan.
Ruang makan	250	1	
Cafetaria	250	1	
Kamar tidur	150	1 atau 2	Diperlukan lampu tambahan pada bagian kepala tempat tidur dan cermin.
Dapur	300	1	

2.6 Perhitungan Pencahayaan

2.6.1 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah *fluks* cahaya per satuan sudut ruang yang dipancarkan ke suatu arah tertentu. *Flux* cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya adalah sejumlah cahaya yang dipancarkan dalam satu detik. Intensitas cahaya dinyatakan dalam satuan candela (cd) dengan lambang. Sedangkan fluks cahaya, mempunyai satuan *lumen* dengan lambang. Dari uraian di atas diperoleh persamaan (Dermawan, 2017a):

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (2.10)$$

Dimana:

I = Intensitas Cahaya (Candela)

ϕ = Fluks Cahaya (*Lumen*)

ω = Satuan Sudut Ruang (Steradian)

2.6.2 Intensitas Penerangan (E)

Intensitas penerangan adalah *fluks* cahaya yang jatuh pada $1m^2$ dari bidang itu ($1 lux = 1m/m^2$). Sedangkan iluminasi penerangan rata-rata (E rata-rata) adalah jumlah fluks yang dipancarkan (*lumen*) persatuan luas (m^2).

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (2.11)$$

Dimana:

E = Intensitas Penerangan (*Lux*)

ϕ = Fluks Cahaya (*Lumen*)

A = luas (m^2)

2.6.3 Menentukan Jumlah Lampu Yang Dibutuhkan

Faktor-faktor yang mempengaruhi penentuan jumlah titik cahaya pada suatu ruangan menurut (Dermawan, 2017)

1. Macam penggunaan ruangan (fungsi ruangan), setiap macam penggunaan ruangan mempunyai kebutuhan kuat penerangan yang berbeda-beda.
2. Ukuran ruangan, semakin besar ukuran ruangan maka semakin besar pula kuat penerangan yang dibutuhkan.
3. Keadaan dinding dan langit-langit (faktor refleksi), berdasarkan warna cat dari dinding dan langit-langit pada ruangan tersebut memantulkan ataukah menyerap cahaya.
4. Macam jenis lampu dan armatur yang dipakai, tiaptiap lampu dan armatur memiliki konstruksi dan karakteristik yang berbeda.

Beberapa hal yang perlu diperhitungkan yaitu sebagai berikut:

1. Efisiensi *Armatur* (ν)

Efisiensi sebuah armatur ditentukan oleh konstruksinya dan bahan yang digunakan. Dalam efisiensi penerangan selalu diperhitungkan efisiensi armaturnya.

$$\nu = \frac{\text{fluks cahaya yang dipantulkan}}{\text{fluks cahaya yang dipancarkan sumber}} \quad (2.12)$$

2. Indeks Ruang

Indeks ruangan menyatakan perbandingan antara ukuran-ukuran utama suatu ruangan berbentuk bujur sangkar dirumuskan dengan berikut:

$$k = \frac{p \cdot l}{h(p + l)} \quad (2.13)$$

Dimana:

p = panjang ruangan (meter)

l = lebar ruangan (meter)

h = tinggi armature terhadap bidang kerja (meter)

3. Faktor Penyusutan atau Depresiasi (kd)

Memperoleh efisiensi penerangan dalam keadaan dipakai, Faktor penyusutan ini dibagi 3 golongan utama yaitu sebagai berikut:

1. Pengotoran ringan (daerah yang hampir tak berdebu)
2. Pengotoran sedang/biasa
3. Pengotoran berat (daerah banyak debu)

Bila pengotoran ruang tak diketahui, maka faktor depresiasi yang digunakan adalah 0,8.

4. Bidang kerja

Intensitas penerangan harus ditentukan dimana pekerjaan akan dilaksanakan. Bidang kerja umumnya diambil 0.8 cm diatas lantai.

5. Faktor Utility (kp)

Faktor utility dapat ditentukan dengan tabel efisiensi penerangan dengan cara mencari nilai indeks ruangan yang tepat. Jika nilai indeks ruangan tidak terdapat secara tepat pada tabel sistem penerangan, efisiensi, dan depresiasi yang sudah ada, maka faktor utility biasanya 0.8

6. Jumlah Lampu (n)

Setelah menentukan parameter diatas, maka untuk mencari jumlah lampu yang digunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{E \times A}{\phi \times kp \times kd} \quad (2.14)$$

Dimana:

n = jumlah lampu (buah)

E = intensitas penerangan (*lux*)

ϕ = fluks cahaya (*lumen*)

A = Satuan luas (m^2)

K_p = faktor utility (0.8)

K_d = faktor depresiasi (0.8)

7. Kebutuhan Daya

Daya yang dibutuhkan untuk semua armatur dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W_{total} = n \times W_1 \quad (2.15)$$

Dimana:

n = Jumlah lampu (buah)

W_1 = Daya lampu (Watt)

2.7 Sistem Tata Udara (*Air Conditioning*)

Pengkondisian udara adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu kelembapan, kebersihan dan pendistribusianya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada didalamnya (Sayuti et al., 2019a).

Temperatur udara rata-rata di Indonesia yang terletak di daerah khatulistiwa dan beriklim tropis adalah sekitar $26,96^{\circ}\text{C}$ dengan kelembapan relatif atau relative *humidity* (RH) rata-rata sekitar 80,8%. Pada musim kemarau, temperatur maksimal rata-rata mencapai sekitar $34,12^{\circ}\text{C}$, namun di beberapa tempat dapat mencapai 40°C .

Dengan kondisi tersebut, kebutuhan pengkondisian udara atau *air conditioning* (AC) di Indonesia sangat diperlukan untuk menunjang kenyamanan dalam beraktifitas di dalam ruangan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) bahwa suhu nyaman antara 24°C hingga 27°C dan kelembapan relatif $60\% \pm 5\%$ (Sayuti et al., 2019b).

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembapan yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Selain itu, mengatur aliran udara dan kebersihannya (Putra & Finahari, 2011).

Ada beberapa persyaratan udara pada ruangan sebagai berikut ; (Kepmenkes RI, 2002):

1. Suhu dan kelembapan

- a. Suhu: 18 - 28 °C
- b. Kelembapan: 40% - 60%
- c. Bila suhu udara luar lebih dari 18 °C maka perlu menggunakan pemanas ruangan.
- d. Bila kelembapan udara ruang kerja lebih dari 60% maka perlu menggunakan alat *dehumidifier*.
- e. Bila kelembapan udara ruang kerja lebih dari 40% maka perlu menggunakan *humidifier*.

2. Debu

Agar kandungan debu di dalam udara ruang kerja perkantoran memenuhi persyaratan Kesehatan maka perlu dilakukan upaya-upaya sebagai berikut:

- a. Membersihkan ruang kantor dilakukan pada pagi dan sore hari dengan menggunakan kain basah atau *vacuum cleaner*.

- b. Pembersihan dinding dilakukan secara periodik 2 kali/tahun dan di *cat* ulang 1 kali setahun.
 - c. Sistem ventilasi yang memenuhi syarat.
3. Pertukaran udara

Agar pertukaran udara ruang perkantoran dapat berjalan dengan baik maka perlu dilakukan upaya-upaya sebagai berikut:

- a. Untuk ruang kerja yang tidak menggunakan AC harus memiliki lubang ventilasi minimal 15% dari luas lantai.
- b. Ruang yang menggunakan AC secara periodic harus dimatikan dan diupayakan mendapat pergantian udara secara alamiah dengan cara membuka seluruh pintu dan jendela atau dengan kipas angin.
- c. Membersihkan saringan AC secara periodik sesuai ketentuan pabrik.

4. Gas pencemar

Agar kandungan gas pencemar dalam udara ruangan kerja tidak melebihi konsentrasi maksimum perlu dilakukan tindakan-tindakan sebagai berikut:

- a. Pertukaran udara ruang diupayakan dapat berjalan dengan baik.
- b. Ruang kerja tidak berhubungan langsung dengan dapur.
- c. Dilarang merokok didalam ruangan.
- d. Tidak menggunakan bahan bangunan yang mengeluarkan bau yang menyengat.

5. *Mikroba*

Agar angka kuman dalam ruang tidak melebihi batas persyaratan maka perlu dilakukan beberapa Tindakan sebagai berikut:

- a. Karyawan yang sedang menderita penyakit yang ditularkan melalui udara untuk sementara waktu tidak boleh bekerja.

- b. Lantai dibersihkan dengan *antiseptic*.
- c. Memelihara sistem ventilasi agar berfungsi dengan baik.
- d. Memelihara sistem AC sentral.

2.8 Kenyamanan Thermal

Kenyamanan suhu dipengaruhi oleh adaptasi dari masing-masing individu terhadap suhu luar di sekitarnya. Manusia yang biasa hidup pada iklim panas atau tropis akan memiliki suhu nyaman yang lebih tinggi dibanding manusia yang biasa hidup pada suhu udara rendah seperti halnya bangsa Eropa. Batas kenyamanan manusia yang tinggal di daerah khatulistiwa adalah 19°C TE (batas bawah) - 26°C TE (batas atas) (Talarosha, 2005).

Pada temperatur 26°C TE - 30°C TE daya tahan dan kemampuan kerja manusia mulai menurun maka masa produktifitas manusia meningkat ketika pada kondisi suhu yang nyaman. Berikut merupakan standar suhu nyaman untuk orang Indonesia:

Tabel 2.4 Standar suhu nyaman

Kategori	Temperatur Efektif (TE)	Kelembapan (RH)
Sejuk nyaman	20,5°C - 22,8°C	50%
Nyaman Optimal	22,8°C - 25,8°C	70%
Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%

Berdasarkan tabel 2.4 maka suhu yang kita butuhkan agar para pelajar didalam ruang kelas dapat beraktifitas dengan baik dan meningkatkan produktifitasnya adalah dengan suhu nyaman optimal (22.8°C - 25.8°C). Angka tersebut merupakan angka di bawah kondisi suhu di Indonesia yang dapat mencapai angka 35°C dengan kelembapan

80%. Maka cara untuk mendapatkan kondisi suhu diatas untuk memperoleh kenyamanan *thermal* yang baik dengan menggunakan AC (*Air Conditioner*).

2.9 Air Conditioner (AC)

Air Conditioner (AC) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara di dalam ruangan. Tujuan utama dari penggunaan AC adalah untuk menciptakan kondisi udara yang nyaman bagi penghuni ruangan. AC bekerja dengan menghilangkan panas dari udara di dalam ruangan dan mengembuskannya ke luar. Proses ini melibatkan komponen-komponen seperti kompresor, kondensor, evaporator, dan sistem pengatur suhu. AC dapat digunakan untuk pendinginan ruang saat udara luar terlalu panas, tetapi beberapa model juga dapat menghasilkan udara panas untuk pemanasan saat suhu luar terlalu dingin.

2.9.1 Komponen Utama AC

Komponen utama pada AC tergantung pada jenis dan modelnya, namun secara umum AC memiliki beberapa komponen utama berikut:

1. Kompresor

Kompresor merupakan bagian yang berfungsi untuk memampatkan dan menggerakkan *refrigerant* dalam sistem AC. Tujuan lain kompresor juga berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan suhu *refrigerant*.

2. Kondensor

Kondensor merupakan komponen AC yang berfungsi untuk membuang panas dari *refrigerant* yang dikompresi oleh kompresor. Kondensor biasanya terletak di luar ruangan pada sistem AC *split*. Udara luar mengalir melalui kondensor untuk menghilangkan panas dari *refrigerant*.

3. Evaporator

Evaporator merupakan komponen yang bertanggung jawab untuk menyerap panas di dalam ruangan. Evaporator biasanya terletak di dalam ruangan atau dalam unit AC *split*. Udara di dalam ruangan melewati evaporator dan panasnya ditransfer ke *refrigerant* yang berada di dalam evaporator. Seiring itu, suhu udara di dalam ruangan menjadi lebih dingin.

4. Sirkulasi Udara

AC juga dilengkapi dengan kipas atau *blower* yang membantu sirkulasi udara di dalam ruangan. Kipas ini membantu menggerakkan udara melalui evaporator dan kondensor sehingga suhu ruangan dapat terkendali dengan lebih baik.

5. Sistem Pengaturan Suhu

AC dilengkapi dengan *thermostat* atau pengontrol suhu yang memungkinkan pengguna untuk mengatur suhu yang diinginkan. *Thermostat* ini mendeteksi suhu ruangan dan mengontrol operasi komponen AC untuk menjaga suhu yang diinginkan.

6. Pipa dan Saluran Udara

AC menggunakan pipa dan saluran udara untuk mengalirkan *refrigerant* dan udara dalam sistem. Pipa menghubungkan kompresor, kondensor, evaporator, dan sistem pendingin lainnya, sementara saluran udara mengarahkan udara ke dan dari unit AC ke ruangan yang akan didinginkan.

Selain komponen-komponen utama ini, AC juga mungkin memiliki komponen tambahan seperti filter udara, katup ekspansi, katup pembalik, dan kontrol elektronik untuk meningkatkan kinerja dan kenyamanan penggunaan.

2.10 Perhitungan Kebutuhan AC

Kebutuhan AC atau *Air Conditioner* dihitung dengan satuan BTU/h (*British Thermal Unit per Hour*). Selain itu, satuan PK digunakan untuk menilai daya *Air Conditioner* (AC) untuk ruangan (Sayuti et al., 2019).

Untuk perhitungan secara rinci pada sistem pendingin maka perlu diketahui ukuran ruangan (panjang, lebar dan tinggi). Satuan dalam AC biasa menggunakan PK (*Paard Kracht*) yang dalam Bahasa Belanda memiliki arti tenaga kuda. Semakin besar kapasitas PK maka semakin besar juga kemampuan AC untuk mendinginkan ruangan yang lebih luas atau mendinginkan ruang dengan cepat.

Tabel 2.5 Standar nilai PK

PK	BTU
0,5	5000
0,75	7000
1	9000
1,5	12.000
2	18.000
3	27.000

$$\text{BTU/h} = \text{Luas Ruangan (m}^2\text{)} \times \text{Faktor BTU} \times \text{Faktor Koreksi} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$$\text{Faktor BTU} = 500 \text{ BTU/m}^2 \text{ (standar umum)}$$

$$\text{Faktor koreksi} = 1,2 \text{ (Untuk ruangan padat orang)}$$

$$\text{Kebutuhan AC (PK)} = \frac{\text{Total BTU/h}}{9.000} \quad (2.17)$$

Keterangan:

$$PK = 9000 \text{ BTU}$$