

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi**

Energi atau yang sering disebut tenaga memiliki sifat abstrak yang sulit dibuktikan, namun dapat dirasakan adanya. Energi tidak dapat diciptakan, dimusnahkan, tetapi dapat dikonversikan atau berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Sebagai contoh, ketika menggunakan kompor di dapur, energi yang tersimpan dalam tabung gas diubah menjadi energi api. Jadi, energi merupakan kemampuan dari suatu sistem untuk melakukan kerja pada sistem lainnya. (Muhamad Aris Raharjo and Selamat Riadi, 2017). Satuan energi dalam Sistem Internasional (SI) adalah Joule. (Kurniawan, Sutoyo and Hartono, 2020). Energi berbanding lurus dengan massa dan kuadrat kecepatan cahaya, sehingga dapat dituliskan dengan persamaan berikut: (Adi, Elsyam and Masruroh S, 2022)

$$E = mc^2 \quad (2.1)$$

Keterangan:

E = Energi (J)

m = massa (kg)

c = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

#### **2.2 Efisiensi Energi**

Istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi yang lebih efisien guna menghasilkan jumlah layanan atau output yang sama adalah efisiensi energi. Dalam konteks ini, efisiensi energi mengacu pada suatu upaya mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kualitas atau kuantitas layanan

yang diberikan. Tujuannya untuk mencapai hasil yang sama atau bahkan lebih baik dengan menggunakan energi yang lebih sedikit. (Madonna, 2016). Efisiensi energi dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini: (Amalia, 2022)

$$\eta = \frac{E_{dihasilkan}}{E_{diterima}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi energi (%)

$E_{dihasilkan}$  = Energi yang dihasilkan (J)

$E_{diterima}$  = Energi yang diterima (J)

### 2.3 Energi Listrik

Energi listrik merupakan bentuk energi yang terkait dengan aliran arus elektron yang dinyatakan dalam satuan Watt-Jam atau KiloWatt-Jam. Perpindahan energi listrik terjadi saat elektron mengalir melalui konduktor tertentu. Energi listrik dapat disimpan sebagai energi medan elektrostatis melalui medan listrik yang dihasilkan oleh muatan elektron yang terakumulasi pada pelat-pelat kapasitor. (Lambey et al., 2021). Energi listrik dapat dinyatakan dengan rumus: (Setyo Supratno, 2013)

$$W = P \times t \quad (2.3)$$

Keterangan:

W = Energi listrik (kWh)

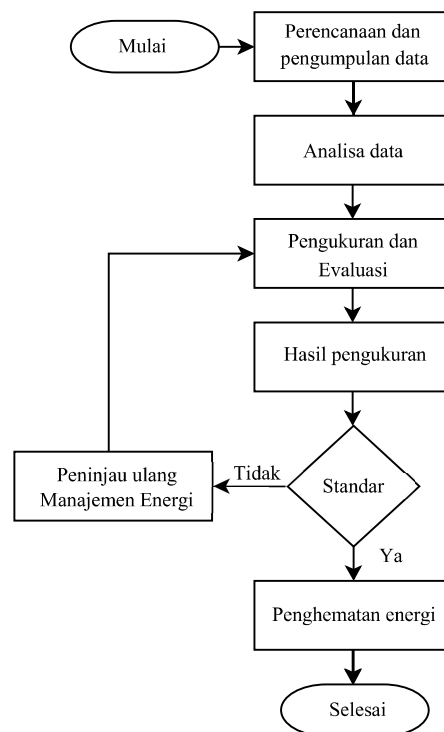
P = Daya listrik (Watt)

t = Waktu penggunaan (jam)

## 2.4 Manajemen Energi

Manajemen energi merupakan suatu usaha terpadu dalam mengatur penggunaan energi agar dapat memanfaatkannya secara efektif dan efisien guna mencapai hasil yang optimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis guna meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi untuk proses produksi, bahan baku, dan bahan pendukung. (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 33 Tahun 2023)

### 2.4.1 Flowchart Manajemen Energi



Gambar 2. 1 Flowchart manajemen energi

Sumber: (Rahmawati and Abduh, 2022)

Gambar 2.1 merupakan alur dalam melakukan proses manajemen energi, diantaranya:

1. Perencanaan dan pengumpulan data: dalam tahap ini menetapkan dan memelihara prosedur untuk menginventarisasi, mengidentifikasi dan memahami undang-undang (kepatuhan) terkait energi dan persyaratan lainnya, dan untuk meninjau data energi historis dan penggunaan energi di ruang publik.
2. Analisa data penggunaan energi: melakukan analisa dari data dari pengguna energi terbesar, analisa *Significant Energy Use (SeU) di public area*.
3. Pengukuran dan evaluasi: melakukan monitoring penggunaan penggunaan variabel terkait energi yang terkait dengan konsumsi energi penting, seperti: *Energy Performance Indicator (EnPI)*, evaluasi konsumsi energi aktual dibandingkan konsumsi energi yang diharapkan (target).
4. Hasil pengukuran energi: hasil pengukuran energi berupa catatan rekaman kontrol yang berisi metodologi, kriteria dan hasil tinjauan energi, kesempatan untuk meningkatkan kinerja energi, *baseline* energi, indikator kinerja energi, catatan komunikasi internal, merancang hasil aktivitas, hasil pemantauan dan pengukuran karakteristik dalam pelaksanaan operasional, hasil evaluasi kepatuhan terhadap perundangan, rekaman tindakan korektif (mengambil langkah-langkah untuk memperbaiki penyebab setelah masalah terjadi) dan preventif (memperhatikan masalah sebelum terjadi dan mengambil langkah-langkah untuk memperbaiki penyebab masalah sebelum terjadi).



5. Peninjau ulang manajemen energi: menindaklanjuti penilaian terkait dengan ketidaksesuaian standar, penilaian efektivitas *Energy Management System* (EnMS), *Energy Performance Indicator* (EnPI), dan kinerja energi sesuai kebutuhan.
6. Melakukan penghematan energi: melakukan penghematan energi dengan metode penghematan energi yaitu metode investasi tanpa biaya, investasi dengan biaya ringan, investasi dengan biaya menengah dan investasi biaya tinggi. (Rahmawati and Abduh, 2022)

## **2.5 Konservasi energi**

Konservasi energi merupakan suatu upaya yang dilakukan secara sistematis, terencana, terpadu guna menjaga dan mempertahankan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 33 Tahun 2023)

Penerapan konservasi energi berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 33 Tahun 2023 pasal 30, terdapat sektor/ ruang lingkup yang harus diterapkan, meliputi:

- a. Sektor transportasi

Pengguna sumber energi dan/atau pengguna energi pada sektor transportasi yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 4.000 setara ton minyak per tahun, wajib melaksanakan kegiatan konservasi energi melalui manajemen energi.

b. Sektor industri

Pengguna sumber energi dan/atau pengguna energi pada sektor industri yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 4.000 setara ton minyak per tahun, wajib melaksanakan kegiatan konservasi energi melalui manajemen energi.

c. Sektor rumah tangga

Konservasi pada sektor rumah tangga, dilakukan oleh pengguna sumber energi dan/atau pengguna energi melalui penggunaan peralatan pemanfaat energi yang efisien.

d. Sektor bangunan gedung

Pengguna sumber energi dan/atau pengguna energi pada sektor bangunan gedung yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 500 setara ton minyak per tahun, wajib melaksanakan kegiatan konservasi energi melalui manajemen energi.

## **2.6 Audit Energi**

Tujuan audit energi adalah untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah energi yang digunakan dalam suatu industri, operasional pabrik, atau bangunan, serta mengenali peluang untuk penghematan energi. Audit energi merupakan proses pengecekan atau pemeriksaan yang dilakukan secara berkala untuk memastikan penggunaan energi yang tepat, efisien, dan rasional. Melalui audit energi, dapat dilacak dan diidentifikasi tanda-tanda kebocoran energi sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan. (Salim, Zainal Abidin and M.Iqbal Arsyad, 2023)

Audit energi merupakan suatu kegiatan yang harus dilakukan sesuai saran pemerintah setempat dengan aturan yang telah disebutkan oleh Peraturan Menteri Energi serta Sumber Energi Mineral Republik Indonesia No. 14 tahun 2012, yang berbunyi:

1. Pasal 5 point C: melaksanakan audit energi secara berkala.
2. Pasal 8 ayat 1: audit energi dilaksanakan secara berkala sekurang-kurangnya pada peralatan pemanfaat energi utama paling sedikit 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) tahun.

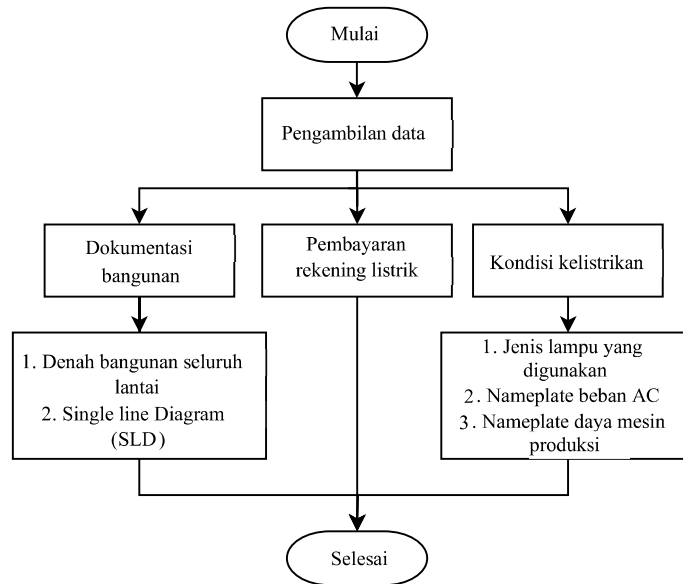
### **2.6.1 Audit Energi Awal**

Audit Energi Awal merupakan kegiatan yang melakukan pengumpulan data energi bangunan dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran.

Data yang diperlukan meliputi:

1. Dokumentasi bangunan, yang diperlukan adalah gambar teknik bangunan sesuai pelaksanaan konstruksi, terdiri:
  - a. Denah bangunan seluruh lantai.
  - b. *Single Line Diagram* (SLD), lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listrik dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari Genset bila ada.
2. Pembayaran rekening listrik bulanan dalam satu tahun terakhir.  
(Muhammad Ikhsan and Maldi Saputra, 2016)
3. Kondisi kelistrikan, seperti pada sistem pencahayaan (jenis lampu yang digunakan), *nameplate* beban AC (Air Conditioner), dan *nameplate* daya mesin produksi.

Dapat diperhatikan pada gambar 2.2 merupakan alur kegiatan Audit Energi awal yang digambarkan dalam bentuk flowchart:



Gambar 2. 2 Flowchart Audit Energi Awal

### 2.6.2 Audit Energi Rinci

Audit energi rinci perlu dilakukan apabila hasil dari energi audit awal menunjukkan nilai IKE bangunan melebihi standar yang telah ditentukan, dan juga perlu dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi pada bangunan, sehingga dapat diketahui peralatan pengguna energi apa saja yang pemakaiannya cukup besar. (Muhammad Ikhsan and Maldi Saputra, 2016). Selanjutnya, berdasarkan bukti perhitungan, akan ditemukan rekomendasi atau saran untuk melakukan perubahan sistem atau komponen yang dapat menghasilkan Peluang Hemat Energi (PHE). (Sylvi Oktavia Ginting, Bagus and Gede, 2022)

## 2.7 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) merupakan suatu nilai/besaran yang dijadikan sebagai indikator untuk mengukur tingkat penggunaan energi pada suatu bangunan. Intensitas Konsumsi Energi pada suatu bangunan didefinisikan dalam satuan  $KWh/m^2/tahun$ . (Biantoro and Permana, 2017). Untuk mencari nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dapat menggunakan persamaan rumus (2.4). (Ahmad Hermawan, Rosina Ahda Dini and Chandra Wiharya, 2023)

$$IKE = \frac{kWh}{m^2} = \frac{\text{total konsumsi energi}}{\text{total luas lantai}} \quad (2.4)$$

Rumus tersebut menjelaskan bahwasanya untuk mencari nilai IKE pada suatu bangunan, dihitung dari total konsumsi energi (kWh) bangunan, kemudian dibagi total luas lantai ( $m^2$ ) bangunan, setelah itu dapat ditarik hasil untuk nilai IKE pada bangunan tersebut. Sebagai acuan bahwasanya nilai IKE pada bangunan dikatakan efisien atau tidak, terdapat standar IKE pada bangunan yang dapat diperhatikan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan menurut ASEAN-UNAID tahun 1987

No	Jenis Bangunan	IKE (KWh/ $m^2$ /tahun)
1.	Perkantoran (Komersial)	240
2.	Pusat Belanja	330
3.	Hotel/Apartemen	300
4.	Rumah Sakit	380

Standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan pada tabel 2.1 tidak menyebutkan adanya standar IKE bangunan pada industri yang digunakan penulis sebagai tempat penelitian, akan tetapi terdapat standar penunjang untuk penelitian

ini, dimana nilai IKE bangunan industri dimasukkan/disamakan dengan nilai IKE bangunan rumah sakit. Dapat diperhatikan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Standar penunjang Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan industri menurut jurnal Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan Vol.09 No.03 halaman 115-120

(Sulistyowati, Ar Raafi Pangestu and Sigit Setya Wiwaha, 2023)

No	Jenis Bangunan	IKE (KWh/m <sup>2</sup> /tahun)
1.	Perkantoran (Komersial)	240
2.	Pusat Belanja	330
3.	Hotel/Apartemen	300
4.	Rumah Sakit/Industri (Umum)	380

Standar penunjang IKE pada bangunan menurut Sulistyowati, Ar Raafi Pangestu dan Sigit Setya Wiwaha (2023) yang bersumber dari ASEAN-UNAID tahun 1992 berisikan standar IKE bangunan yang dimana keseluruhan nilai IKE bangunan sama persis dengan standar ASEAN-UNAID tahun 1987, akan tetapi pada jurnal tersebut menyebutkan untuk nilai standar IKE bangunan industri ada di 380 KWh/m<sup>2</sup>/tahun.

Nilai IKE bersifat dinamis dimana dari waktu ke waktu dapat berubah berdasarkan hasil penelitian mengikuti perkembangan teknologi hemat energi dan mengikuti kesadaran pengguna energi. Dalam analisis nilai IKE, jika nilai IKE dari hasil perhitungan berada dibawah standar yang telah ditentukan, maka nilai tersebut masuk dalam kategori efisien. (Abidin et al., 2021)

## 2.8 Sistem Pencahayaan

Sistem pencahayaan memiliki peran penting dalam bangunan karena berdampak pada kenyamanan dan produktivitas individu yang sedang bekerja.

Sistem pencahayaan yang efektif serta efisien harus memenuhi standar kualitas dan kuantitas yang baik juga hemat energi. Satuan yang digunakan untuk mengukur intensitas pencahayaan adalah Lux, dan alat yang digunakan untuk mengukur kuat pencahayaan bernama Luxmeter. (Abidin et al., 2021). Sebagai bahan acuan sudah atau belumnya kesesuaian tingkat pencahayaan pada suatu bangunan, terdapat standar minimum pencahayaan yang dapat diperhatikan pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Standar minimum pencahayaan pada bangunan menurut SNI

6197:2020

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan minimum (Lux)	Renderasi Warna minimum
<b>Industri</b>		
Gudang	100	80
Pekerjaan kasar	200	80
Pekerjaan menengah	500	80
Pekerjaan halus	1.000	90
Pekerjaan amat halus	2.000	90
Pemeriksaan warna	750	90
<b>Perkantoran</b>		
Ruang resepsionis	300	80
Ruang direktur	350	80
Ruang kerja	350	80
Ruang komputer	150	80
Ruang rapat	300	80
Ruang gambar	750	90
Ruang arsip	150	80

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan minimum (Lux)	Renderasi Warna minimum
Ruang arsip aktif	350	80
Ruang tangga darurat	100	80
Ruang Parkir	100	80
<b>Rumah Tinggal</b>		
Teras	40	80
Ruang tamu	150	80
Ruang keluarga	100	80
Ruang makan	100	80
Ruang kerja	350	80
Kamar tidur	50	80
Kamar mandi	100	80
Tangga	100	80
Gudang	50	80
Dapur	250	80
Garasi	50	80

Parameter standar tingkat pencahayaan SNI 6197:2020 tidak menyebutkan tingkat pencahayaan (lux) secara spesifik untuk rumah ibadah. Maka dari itu penulis menggunakan standar tingkat pencahayaan SNI 6197:2011 yang menyebutkan tingkat pencahayaan (lux) secara spesifik untuk rumah ibadah yang dapat di perhatikan pada tabel 2.4.



Tabel 2. 4 Standar tingkat pencahayaan minimum rumah ibadah menurut SNI  
6197:2011

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Renderasi Warna
Masjid	200	1 atau 2
Gereja	200	1 atau 2
Vihara	200	1 atau 2

Catatan: Kelompok renderasi warna pada kelompok 1 memiliki renderasi warna indeks 81 ~ 100%, dan kelompok 2 memiliki renderasi warna indeks 61 ~ 80%.

Lampu merupakan salah satu komponen utama dalam sistem penerangan buatan suatu bangunan. Oleh karena itu, pemilihan lampu dengan tingkat pencahayaan yang tepat sangat penting untuk penggunaan dalam suatu ruangan yang akan membuat penerangan memiliki kualitas dan kuantitas yang baik, dan perlu memperhatikan umur pemakaian lampu agar efisiensi sistem pencahayaan dapat terjaga. (Abidin et al., 2021)

### 2.8.1 Jenis Pencahayaan

Pencahayaan dibagi menjadi 2 jenis, yakni:

#### 1. Pencahayaan Alami

Pencahayaan yang berasal dari sumber alam, umumnya dikenal sebagai cahaya matahari. (SNI 6197:2020). Pencahayaan alami harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Pencahayaan alami dalam gedung harus memenuhi ketentuan SNI 03-2396-2001. Tentang tata cara penerangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung.

- b. Dalam penggunaannya, radiasi yang ditimbulkan oleh cahaya matahari langsung ke dalam bangunan gedung harus dibuat seminimal mungkin untuk menghindari timbulnya peningkatan temperatur pada ruang dalam bangunan.
- c. Cahaya langit bukaan transparan pada bangunan harus diutamakan daripada cahaya matahari langsung.
- d. Cahaya alami di siang hari harus dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya sebagai alternatif cahaya tambahan untuk mengurangi penggunaan energi listrik pada bangunan dengan mempertimbangkan aspek-aspek sistem terkait. (SNI 6197:2011)

## 2. Pencahayaan Buatan

Pencahayaan buatan adalah pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya buatan manusia, seperti lampu listrik. (SNI 6197:2020). Dalam melakukan kegiatan energi pada penggunaan daya listrik untuk sistem pencahayaan buatan antara lain:

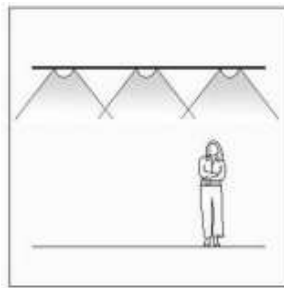
- a. Menentukan nilai lux sesuai fungsi ruangan
- b. Menghitung jumlah *flux luminous* (lumen) dan jumlah lampu yang dibutuhkan.
- c. Menentukan jenis lampu yang lebih efisien.
- d. Menghitung jumlah daya pencahayaan yang terpasang.
- e. Menentukan armatur dan tata letak armatur. (Tanod et al., 2015)

### 2.8.2 Kelompok Pencahayaan

Sistem pencahayaan terbagi menjadi 3 kelompok, diantaranya:

1. Sistem pencahayaan merata

Sistem ini memberikan tingkat pencahayaan yang merata di seluruh ruangan, digunakan apabila tugas visual yang dilakukan di semua tempat dalam ruangan membutuhkan tingkat pencahayaan sama. Tingkat pencahayaan yang merata diperoleh dengan memasang armatur secara merata langsung maupun tidak langsung di seluruh langit-langit. (SNI 03-6575-2001). Dapat diperhatikan pada gambar 2.3 merupakan contoh visualisasi dari pencahayaan merata.

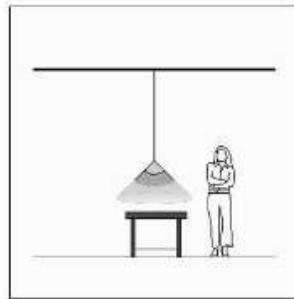


Gambar 2. 3 Sistem pencahayaan merata

Sumber: (Manggali, 2019)

## 2. Sistem pencahayaan setempat

Sistem pencahayaan setempat memberikan tingkat pencahayaan pada bidang kerja yang tidak merata. Di tempat yang dibutuhkan untuk tugas visual yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang tinggi, diberikan cahaya yang lebih banyak dibandingkan dengan sekitarnya. Hal ini didapat dengan mengkonsentrasikan penempatan armatur pada langit-langit diatas tempat tersebut. (SNI 03-6575-2001). Dapat diperhatikan pada gambar 2.4 merupakan contoh visualisasi dari pencahayaan setempat.

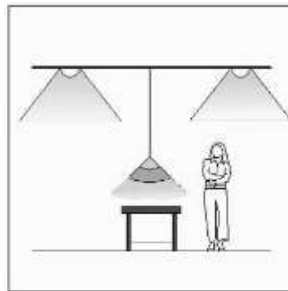


Gambar 2. 4 Sistem pencahayaan setempat

Sumber: (Manggali, 2019)

### 3. Sistem pencahayaan gabungan merata dan setempat

Sistem pencahayaan gabungan didapatkan dengan menambah sistem pencahayaan setempat pada sistem pencahayaan merata, dengan armatur yang dipasang di dekat tugas visual. (SNI 03-6575-2001). Dapat diperhatikan pada gambar 2.5 merupakan contoh visualisasi dari pencahayaan gabungan merata dan setempat.



Gambar 2. 5 Sistem pencahayaan gabungan merata dan setempat

Sumber: (Manggali, 2019)

### 2.8.3 Iluminasi

Iluminasi dapat diartikan sebagai intensitas fluks cahaya yang diterima oleh suatu luas permukaan. Hal ini diukur dalam fluks luminasi per unit. Intensitas fluks cahaya sendiri dapat diartikan sebagai kuat intensitas cahaya yang diradiasikan oleh

sumber cahaya. Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat kecerahan merupakan banyaknya intensitas fluks cahaya per unit area, sehingga semakin besar lux cahaya yang dihasilkan oleh sumber cahaya maka akan memperbesar tingkat kecerahan, namun apabila semakin besar tingkat kecerahan suatu fluks cahaya maka akan terjadi *glare* yang berakibat ketidaknyamanan mata dalam menangkap suatu cahaya.

Intensitas cahaya yang dipancarkan dari sebuah sumber diukur dalam satuan *candle* (cd). Pada nyatanya, *candle* atau lilin memiliki standar tersendiri dalam seberapa banyak lilin tersebut dinyalakan untuk menghasilkan cahaya, sehingga hasil cahaya standar yang dipancarkan lilin tersebut yang menjadi pembanding satuan untuk menghitung intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber cahaya lain dengan satuan untuk pembanding ini disebut dengan kuat intensitas cahaya atau disebut dengan lumens. Secara matematis iluminasi dapat dituliskan dengan rumus berikut: (Sugianto, Muis and Imania, 2020)

$$E = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

Keterangan:

E = Iluminasi (Lux)

F = Fluks cahaya (lm)

A = Luas permukaan bidang ( $m^2$ )

#### **2.8.4 Fluks Cahaya**

Fluks cahaya merupakan total jumlah cahaya yang jatuh pada setiap sudut ruangan. Persamaan fluks cahaya dilambangkan  $\Phi$  dengan satuan lumen (lm). (Parera, Tupan and Puturuhi, 2018). Satu lumen merupakan fluks cahaya yang

dipancarkan dalam 1 steradian dari sumber cahaya 1 cd pada permukaan bola dengan jari-jari  $R= 1\text{m}$ . (Abimanyu, 2014). Secara matematis fluks cahaya dapat ditulis dengan rumus berikut: (Abidin et al., 2021)

$$\Phi = E \times A \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\Phi$  = Fluks cahaya (lm)

E = Intensitas cahaya (lux)

A = Luas ruangan ( $m^2$ )

### 2.8.5 Efisiensi Energi Sistem Pencahayaan

Efisiensi energi sistem penerangan dapat ditingkatkan dengan beberapa langkah, diantaranya:

1. Menggunakan lampu yang mempunyai efikasi lebih tinggi dan menghindari pemakaian lampu dengan efikasi rendah. Jenis lampu yang ada dipasaran antara lain:
  - a. Lampu halogen/pijar
  - b. Lampu pelepasan tekanan rendah, antara lain lampu fluoresen, dan sodium.
  - c. Lampu pelepasan tekanan tinggi, seperti metalhalide.
  - d. Lampu *Light Emitting Diode* (LED).
2. Pemilihan *ballast* dengan efisiensi tinggi
  - a. *Ballast* elektronik lebih efisien daripada *ballast magnetic*

- b. *Ballast* dapat dan tidak harus disatukan dengan lumener. Memadukan lampu dengan ballast dikenal dengan nama lampu fluorezen kompak yang pemasangannya sesuai panjang lampu dari lampu pijar.
3. Pemilihan lumener yang efisien
    - a. Penghematan energi sistem pencahayaan dapat dilakukan juga dengan cara pemilihan lumener yang mempunyai karakteristik distribusi pencahayaan yang efisien, dengan melihat kepada seberapa besar nilai rasio efisiensi lumener pada *luminaire* yang akan digunakan. Nilai rasio efisiensi lumener (LOR) yang disarankan adalah lebih besar atau sama dengan 60% (LOR  $\geq$  60%), semakin besar nilai LOR suatu lumener maka akan semakin baik efisiensinya dan akan berimbas kepada semakin hemat sistem energi cahaya pada suatu ruang.
    - b. Menggunakan lumener yang memiliki tingkat kontrol silau yang baik. Hal ini dapat diperlihatkan dengan mengetahui seberapa besar nilai faktor tingkat silau yang dihasilkan dari suatu ruang yang direncanakan. (SNI 6197:2020)

#### **2.8.6 Efikasi**

Efikasi merupakan hasil bagi antara fluks *luminous* (lumen) dengan daya listrik (Watt) masukan suatu sumber cahaya dinyatakan dalam satuan lumen per watt. (SNI 6197:2020). Dapat diperhatikan pada tabel 2.5 merupakan tabel yang berisikan perbandingan efikasi dan umur rata-rata dari berbagai contoh lampu.

Tabel 2. 5 Perbandingan efikasi dan umur rata-rata dari berbagai contoh lampu

Jenis lampu	Efikasi (Lm/W)	Umur rata-rata (jam operasi)
Halogen	15-20	2.000-5.000
Fluoresen kompak (CFL)	40-80	8.000-12.000
Fluoresen tabung T8	80-90	10.000-20.000
Fluoresen tabung T5	90-110	15.000-20.000
Sodium tekanan rendah	70-80	18.000-25.000
LED	100-120	35.000-50.000

Sumber: (SNI 6197:2020).

Pemasangan lampu sebaiknya menggunakan lampu yang memiliki efikasi tinggi seperti lampu LED. Penggunaan lampu T5 yang dikombinasikan dengan ballast elektronik frekuensi tinggi dapat menghemat energi sampai 40% dibanding dengan lampu fluoresen standar. (SNI 6197:2020)

### 2.8.7 Ballast Lampu

*Ballast* lampu merupakan suatu komponen yang berfungsi sebagai pembatas arus.

*Ballast* memiliki jenis, diantaranya:

#### 1. *Ballast* resistor

Pada kondisi kerja yang stabil, ballast ini memerlukan pasokan tegangan dua kali lebih besar dari kebutuhan tegangan lampu. Hal ini berarti 50% daya listrik diborosan oleh *ballast* dan akhirnya penggunaannya menjadi tidak ekonomis. (SNI 03-6575-2001). Dapat diperhatikan pada gambar 2.6 merupakan contoh visualisasi dari *ballast* resistor.





Gambar 2. 6 Ballast resistor

Sumber: (Rabert, 2023)

2. *Ballast* induktif atau *choke*

- a. *Ballast* induktif (*choke*) terdiri dari sejumlah lilitan kawat tembaga pada inti besi yang dilaminasi, cara kerjanya berdasarkan dengan prinsip induktansi sendiri.
- b. Keuntungan pemakaian *ballast* ini diantaranya: rugi daya cukup rendah dibanding jenis *ballast* resistor dan sirkit lebih sederhana dimana *ballast* dihubungkan seri dengan lampu.
- c. Kerugian pemakaian *ballast* ini diantaranya: adanya ketinggalan fasa dari arus terhadap tegangan sehingga diperlukan koreksi faktor daya. (SNI 03-6575-2001)

Dapat diperhatikan pada gambar 2.7 merupakan contoh visualisasi dari ballast induktif.



Gambar 2. 7 Ballast induktif

Sumber: (Ghoni Musyahar and Bambang Supriyono, 2017)

### 3. *Ballast* elektronik

*Ballast* elektronik bekerja pada sistem frekuensi tinggi (*High Frequency* = HF). Sistem *ballast* elektronik terintegrasi dalam suatu kotak, dimana di dalam ballast ini terdapat komponen-komponen elektronika yang terdiri dari beberapa blok, yaitu *low pass filter* (sebagai pembatas distorsi dan radio harmonik, memproteksi komponen terhadap tegangan listrik tinggi, dan membatasi arus “*inrush*”), *converter* AC/DC (terdiri dari jembatan dioda yang mengubah tegangan AC menjadi DC, berisi juga *buffer capacitor* yang diperlukan oleh tegangan DC. *Buffer capacitor* menentukan bentuk arus lampu dan arus listrik), generator HF (berfungsi sebagai penguat tegangan DC menjadi tegangan HF), dan pengendali lampu. (SNI 03-6575-2001)



Gambar 2. 8 Ballast elektronik

Sumber: ([lighting.philips.co.id](http://lighting.philips.co.id))

### 4. *Ballast* Magnetik

Ballast magnetik merupakan pengatur daya listrik yang digunakan secara khusus dalam sistem lampu neon. Cara kerja ballast ini bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetisme, dimana arus listrik yang melewati kawat menghasilkan gaya magnet di sekelilingnya. Fungsi utama *ballast* magnetik yakni untuk memastikan bahwa lampu neon menerima tingkat tegangan dan arus yang sesuai, mencegah panas berlebih dan potensi ledakan. (Dia, 2023)



Gambar 2. 9 Ballast magnetik

Sumber: (lighting.philips.co.id)

### 2.8.8 Luminer (Armatur)

Luminer atau armatur merupakan rumah lampu yang dipergunakan untuk mengendalikan dan mendistribusikan cahaya yang dipancarkan oleh lampu yang dipasang didalamnya, dilengkapi dengan peralatan untuk melindungi lampu dan peralatan pengendali listrik. (SNI 6197:2020).

Tabel 2. 6 Besar cahaya berdasarkan kelas luminer

Kelas Luminer	Jumlah Cahaya	
	Ke arah atas (%)	Ke arah bawah (%)
Langsung ( <i>Direct</i> )	0-10	100-90
Semi langsung ( <i>Semi-direct</i> )	10-40	90-60
Langsung-tidak langsung ( <i>Direct-indirect</i> )	50	50
Difus ( <i>Diffuse</i> )	40-60	60-40
Semi tidak langsung ( <i>Semi indirect</i> )	60-90	40-10
Tidak langsung ( <i>Indirect</i> )	90-100	10-0

Sumber: (SNI 6197:2020)

Besar cahaya berdasarkan kelas luminer dari tabel 2.6 menjelaskan bahwa pada kelas luminer *direct*, kelas luminer tersebut mengarahkan cahaya lampu ke arah bawah pada *range* 100-90%, ke arah atas 0-10%. Kelas luminer *semi-direct* mengarahkan cahaya lampu ke arah bawah pada *range* 90-60%, ke arah atas pada *range* 10-40%. Kelas luminer *direct-indirect* mengarahkan cahaya lampu dengan seimbang ke arah bawah 50%, ke arah atas 50%. Kelas luminer *difusse* mengarahkan cahaya lampu ke arah bawah pada *range* 60-40%, ke arah atas 40-60%. Kelas luminer *semi indirect* mengarahkan cahaya lampu ke arah bawah pada *range* 40-10%, ke arah atas 60-90%. Pada kelas luminer terakhir, kelas luminer *indirect* mengarahkan cahaya lampu ke arah bawah pada *range* 10-0%, ke arah atas 90-100%. Dapat diperhatikan pada gambar 2.10 merupakan gambar ilustrasi dari kelas luminer.

Klasifikasi CIE	Perkiraan distribusi cahaya oleh luminer	
	Persen ke atas	Persen ke bawah
Langsung	0-10	100-90
Semi Langsung	10-40	90-60
Langsung – Tidak Langsung	50	50
Menyebar Umum	40-60	60-40
Semi Tidak Langsung	60-90	40-10
Tidak Langsung	90-100	10-0

Gambar 2. 10 Ilustrasi kelas luminer

Sumber: (SNI 6197:2020)

### 2.8.9 Perhitungan Tingkat Pencahayaan

#### A. Tingkat pencahayaan rata-rata ( $E_{rata-rata}$ )

Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan pada umumnya diartikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Bidang kerja ialah bidang horizontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan. Tingkat pencahayaan rata-rata dapat dihitung dengan rumus (2.7). (SNI 6197:2020)

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times K_p \times K_d}{A} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$F_{total}$  = Fluks luminous total dari semua lampu yang menerangi bidang kerja (lumen)

$K_p$  = Koefisien penggunaan

$K_d$  = Koefisien depresiasi (penyusutan)

$A$  = Luas bidang kerja ( $m^2$ )

#### B. Koefisien Penggunaan ( $K_p$ )

Sebagian cahaya yang dipancarkan oleh lampu diserap oleh luminer, dan sebagian dipancarkan ke arah atas, dan ke arah bawah. Faktor penggunaan diartikan sebagai perbandingan antara fluks luminus yang sama di bidang kerja terhadap keluaran cahaya yang dipancarkan oleh semua lampu. (SNI 6197:2020)

Perhitungan faktor penggunaan ( $K_p$ ) dinyatakan dengan rumus: (SNI 6197:2011)

$$K = \frac{\text{panjang} \times \text{lebar}}{\text{jarak luminer terhadap bidang kerja} \times (\text{panjang} + \text{lebar})} \quad (2.8)$$

### C. Koefisien Depresiasi (Kd)

Koefisien depresiasi atau faktor kerugian cahaya (*Light Loss Factor*) merupakan hasil perkalian antara faktor pemeliharaan lumener, faktor survival lampu (*lumen depreciation*), faktor pemeliharaan lumener dalam kondisi ruang berbeda, dan faktor pemeliharaan permukaan ruang. Besarnya koefisien depresiasi biasanya ditentukan berdasarkan estimasi. Untuk ruangan dan lumener dengan pemeliharaan yang baik pada umumnya koefisien depresiasi diambil sebesar 0,6-0,9. (SNI 6197:2020)

#### 2.8.10 Indeks Renderasi Warna

Indeks Renderasi Warna atau renderasi warna cahaya, merupakan nilai kemampuan sumber cahaya untuk dapat mendefinisikan warna yang sebenarnya dari suatu objek atau benda. Nilai indeks ini berkisar dari 0-100. (SNI 6197:2020).

Tabel 2. 7 Nilai renderasi warna dan temperature untuk beberapa jenis lampu

Sumber: (SNI 6197:2020)

Lampu	Temperatur Warna (K)	Renderasi Warna
Pijar/halogen	<3300	95
TLD (fluoresen)	<3300 s.d >5500	50 s.d 95
CFL/PL	<3300 s.d >5500	70 s.d 90
<i>Metal halide</i>	>4000	>70
LPS	<3300	25
Lampu LED	<3300 s.d >5500	70 s.d 95

Sumber: (SNI 6197:2020)

Semakin tinggi nilai dari suatu indeks renderasi warna, maka akan semakin baik kemampuan sumber cahaya tersebut untuk menunjukkan warna sebenarnya dari suatu objek. (SNI 6197:2020). Pada tabel 2.7 terdapat temperatur warna yang dimana di setiap temperatur warna terdapat kategori tampak warna. Dapat diperhatikan pada tabel 2.8 yang berisikan tampak warna terhadap temperatur warna.

Tabel 2. 8 Tampak warna terhadap temperatur warna

Temperatur Warna (K)	Tampak Warna
>5300	Putih ( <i>cool daylight</i> )
3300-5300	Putih netral ( <i>warm white</i> )
<3300	Putih kekuningan ( <i>warm</i> )

Sumber: (SNI 6197:2020)

Tabel diatas menjelaskan temperature warna >5300 K menunjukkan tampak warna putih (*cool daylight*), temperature warna 3300-5300 K menunjukkan tampak warna putih netral (*warm white*), dan temperature warna <3300 K menunjukkan tampak warna putih kekuningan (*warm*). Dapat diperhatikan gambar dibawah ini yang merupakan contoh warna dari tampak warna terhadap temperature warna.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. 11 Suhu lampu (a) cool daylight (b) warm white (c) warm

Sumber: (lighting.philips.co.id)

### 2.8.11 Jenis Lampu Penerangan

Lampu penerangan terbagi dalam beberapa jenis, diantaranya:

#### 1. Lampu pijar

Jenis lampu yang dikembangkan Thomas Alfa Edison ini memakai filament tungsten (logam yang memiliki titik leleh tinggi) semacam kawat pijar didalam bola kaca yang diisi gas nitrogen, argon, krypton, hydrogen, dan sebagainya. Lampu ini membutuhkan lebih banyak energi dibandingkan lampu TL untuk mendapatkan tingkat terang yang sama. (Widharma and Sunaya, 2019). Pada gambar 2.12 merupakan contoh visualisasi lampu pijar.





Gambar 2. 12 Lampu pijar

Sumber: (Widharma and Sunaya, 2019)

## 2. Lampu TL (*Tubular Lamp*)

Lampu TL merupakan jenis lampu pelepasan gas berbentuk tabung, berisi uap raksa bertekanan rendah. Di dalamnya terdapat sedikit *mercury* dan gas argon dengan tekanan rendah, serbuk phosphor yang melapisi semua permukaan bagian dalam kaca tabung tersebut. (Chumaidy, 2017). Pada gambar 2.13 merupakan contoh visualisasi lampu TL.



Gambar 2. 13 Lampu TL (*Tubular Lamp*)

Sumber: (Widharma and Sunaya, 2019)

## 3. Lampu CFL (*Compact Fluorescent Lamp*)

Lampu CFL merupakan lampu fluoresen yang berbentuk seperti lampu tungsten ataupun lampu pijar. Lampu CFL yang umum menggunakan Vac 220 Volt. (Chumaidy, 2017). Pada gambar 2.14 merupakan contoh visualisasi lampu CFL (*Compact Fluorescent Lamp*).



Gambar 2. 14 Lampu CFL (*Compact Fluorescent Lamp*)

Sumber: (Chumaidy, 2017)

#### 5. Lampu *Metal Halide*

Lampu *metal halide* merupakan sumber cahaya yang berpusat pada satu titik lampu dan menyebar ke semua arah. Lampu ini dapat menghasilkan cahaya dengan cara melewatkan busur listrik melalui campuran gas argon, raksa dan logam halide bertekanan tinggi. Karakteristik cahaya yang dihasilkan dipengaruhi oleh campuran halida. Campuran halida pada lampu *metal halide* yaitu tambahan logam seperti *thallium*, *sodium*, *scandium*, dan *thorium*. Sebanyak 25% energi yang digunakan lampu metal halide diubah menjadi cahaya. Energi yang mampu diubah menjadi cahaya pada lampu metal halide sebesar 80 lm/watt. (Wibisono and Baheramsyah, 2017). Pada gambar 2.15 merupakan contoh visualisasi lampu *metal halide*.



Gambar 2. 15 Lampu *metal halide*

Sumber: (lighting.philips.co.id)

## 6. Lampu LPS (*Low Pressure Sodium*)

Lampu LPS (*Low Pressure Sodium*) dikenal juga sebagai lampu *sodium oksida* (SOX) merupakan jenis perlengkapan pencahayaan yang beroperasi dengan mengalirkan arus listrik melalui campuran uap *natrium* dan gas mulia seperti neon dan argon pada tekanan dan suhu rendah. Lampu LPS dicirikan oleh output cahaya kuning-oranye yang unik, terutama dipancarkan pada panjang gelombang 589,3 nanometer. (Dia, 2023). Pada gambar 2.16 merupakan contoh visualisasi lampu LPS (*Low Pressure Sodium*)

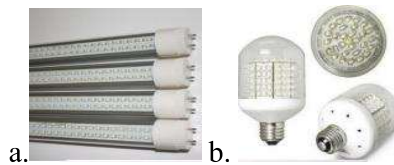


Gambar 2. 16 Lampu LPS (*Low Pressure Sodium*)

Sumber: (lighting.philips.com)

## 7. Lampu LED (*Light Emitting Diode*)

Lampu LED merupakan dioda semikonduktor yang dimana terdiri dari sebuah chip bahan semikonduktor diolah untuk menciptakan sebuah struktur yang disebut pn (positif-negatif) persimpangan. Bila tersambung ke powersource maka arus mengalir dari sisi p atau anoda, ke sisi n atau katoda, tetapi tidak dalam arah sebaliknya. (Chumaidy, 2017). Dapat diperhatikan pada gambar 2.17 terdapat contoh macam visualisasi pada lampu LED.



Gambar 2. 17 Lampu LED (a) Tipe tabung (b) Tipe bohlam

Sumber: (Chumaidy, 2017)

## 2.9 Sistem Tata Udara

Sistem tata udara merupakan keseluruhan dari sistem pengkondisian udara didalam suatu bangunan atau gedung dengan mengatur besaran termal seperti temperature dan kelembaban relatif, serta kesegaran dan kebersihannya sehingga diperoleh kondisi ruangan yang nyaman. (SNI 03-6390-2000)

## 2.10 Air Conditioner (AC)

AC atau *Air Conditioner* merupakan alat yang dapat mengkondisikan udara di ruangan. Dengan kata lain, AC berfungsi sebagai penyejuk udara sesuai keinginan (sejuk atau dingin) dan nyaman bagi tubuh. AC lebih banyak digunakan di wilayah yang beriklim tropis dengan kondisi temperatur udara yang relatif tinggi (panas). Dalam suhu kenyamanan serta optimal, terdapat rentang suhu yang nyaman bagi manusia berada di kisaran rentang 22,8°C hingga 25,8°C. (Wiratmaja, Widayana and Elisa, 2022)

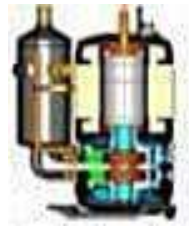
### 2.10.1 Komponen AC

AC memiliki komponen utama, diantaranya:

1. Kompresor: merupakan alat yang berfungsi untuk menyalurkan gas *refrigerant* ke seluruh sistem. Apabila dianalogikan, cara kerja kompresor AC layaknya seperti jantung di tubuh manusia. Kompresor terdapat dua pipa yaitu pipa hisap dan pipa tekan. Memiliki dua daerah tekanan yaitu tekanan rendah dan tekanan tinggi. Kompresor pada sistem refrigasi berfungsi untuk:
  - a. Menurunkan tekanan di dalam evaporator, sehingga refrigerant cair di dalam evaporator dapat mendidih/ menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruang di dekat evaporator.

- b. Menghisap refrigerant gas dari evaporator dengan suhu rendah dan tekanan rendah lalu memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas suhu tinggi dan tekanan tinggi. Selanjutnya mengalirkan ke kondensor, sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada media pendingin kondensor lalu mengembun. (Alfiatra and Irawan, 2019)

Dapat diperhatikan pada gambar 2.18 merupakan contoh visualisasi kompresor AC.



Gambar 2. 18 Kompresor AC

Sumber: (Wiratmaja, Widayana and Elisa, 2022)

2. Kondensor: komponen yang berfungsi sebagai alat penukar kalor, menurunkan temperatur *refrigerant*, dan mengubah wujud *refrigerant* dari bentuk gas menjaadi cair. (Alfiatra and Irawan, 2019). Dapat diperhatikan pada gambar 2.19 merupakan contoh visualisasi kondensor AC.



Gambar 2. 19 Kondensor AC

Sumber: (Alfiatra and Irawan, 2019)

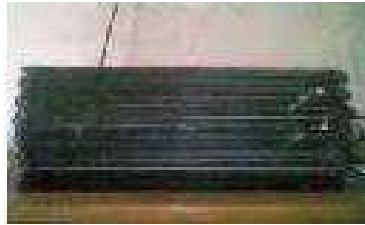
3. Pipa kapiler: Merupakan komponen perangkat murah yang memiliki fungsi untuk mengontrol pendingin dan sering digunakan dalam peralatan kecil. Komponen ini tidak memiliki katup dan tidak berhenti cairan dari pindah ke sisi rendah dari sistem selama sistem siklus berhenti, sehingga tekanan akan menyamakan selama siklus berhenti. Pipa kapiler tidak mengontrol superheat atau tekanan, komponen ini merupakan perangkat *fixed-bore* tanpa bagian yang bergerak dikarenakan perangkat ini tidak bisa menyesuaikan diri dengan memuat perubahan, biasanya digunakan dimana beban relatif konstan tanpa fluktuasi besar. (Alfiatra and Irawan, 2019). Gambar 2.20 merupakan contoh visualisasi dari pipa kapiler AC.



Gambar 2. 20 Pipa kapiler AC

Sumber: (Alfiatra and Irawan, 2019)

4. Evaporator: komponen yang berfungsi menyerap dan mengalirkan panas dari udara ke *refrigerant*. Secara sederhana, komponen ini dikatakan sebagai alat penukar panas. Udara panas disekitar ruangan ber-AC diserap oleh evaporator dan masuk melalui sirip-sirip pipa sehingga suhu udara yang keluar dari sirip-sirip menjadi lebih rendah atau dingin. (Alfiatra and Irawan, 2019). Gambar 2.21 merupakan contoh visualisasi dari evaporator AC.



Gambar 2. 21 Evaporator AC

Sumber: (Alfiatra and Irawan, 2019)

5. *Refrigerant*: Merupakan bahan pendingin berupa *fluida* yang digunakan untuk menyerap kalor melalui perubahan fasa cair ke gas (menguap) dan membuang kalor melalui perubahan fasa gas ke cair (mengkembun). (Alfiatra and Irawan, 2019)

### 2.10.2 AC Split

*AC split* merupakan salah satu jenis mesin pengkondisian udara yang perawatan dan instalasinya cukup mudah dan praktis, sehingga AC split ini menjadi salah satu jenis AC yang paling populer dikalangan masyarakat. (Wiratmaja, Widayana and Elisa, 2022). Dapat diperhatikan pada gambar 2.22 merupakan visualisasi dari AC *split*.



Gambar 2. 22 AC split

Sumber: (Wiratmaja, Widayana and Elisa, 2022)

Pada gambar diatas yang merupakan visualisasi AC *split*, terdapat bagian unit *indoor* dan *outdoor*. Unit *indoor* berperan dalam mendinginkan ruangan dengan mengambil panas dari udara di dalamnya. Sedangkan unit *outdoor* berperan untuk membuang panas yang diambil oleh unit *indoor*. (Saleh, Helen and Anita, 2022)

### 2.11 Kebutuhan Beban Pendingin atau PK (*Paard Kracht*) pada AC

Perhitungan kebutuhan beban pendingin pada AC diperlukan untuk dapat ditentukan besar beban pendingin AC yang dibutuhkan untuk membuat ruangan tetap nyaman. (Nadya Aprilia, Nundang Busaeri and Andri Ulus Rahayu, 2023). Perangkat AC yang tepat disesuaikan kapasitas AC. Kapasitas AC disebut dengan PK (*Paard Kracht*). Istilah PK AC juga bisa disebut sebagai *Horse Power* atau tenaga dari AC. Ketetapan kapasitas AC umumnya menjadi tolak ukur sebagai penentu penggunaan jumlah AC yang seharusnya terpasang dengan menyesuaikan luas ruangan sehingga diperoleh kapasitas atau PK AC yang tepat dan efisien secara penggunaan. (Abidin et al., 2021)

Perhitungan beban pendingin memerlukan data ukuran ruangan (panjang x lebar x tinggi), suhu ( $t_0$ ), dan kelembaban ( $Rh_0$ ) di luar ruangan, suhu ( $t_1$ ) dan kelembaban ( $Rh_1$  biasanya 50-80%) di dalam ruangan, kulit bangunan, tinggi jendela dan langit-langit serta tingkat hunian bangunan (okupansi). Untuk mencari okupansi atau tingkat hunian bangunan dapat digunakan rumus (2.9). (Mauboy, 2018)

$$\text{Okupansi} = \frac{L_{bruto}}{L_{per-orang}} \quad (2.9)$$

Dimana:

$L_{bruto}$  = Luas bruto diambil dari luas ruangan ( $m^2$ )



$L_{per-orang}$  = Luas per orang diambil antara 6-8 per  $m^2$

### 2.11.1 Beban Sensibel Bangunan

Beban sensible bangunan (BSB) dapat di hitung melalui rumus dibawah ini:

(Juwana, 2005)

$$BSB = Luas_{bidang} \times Beban_{kalor} \quad (2.10)$$

Perhitungan BSB atau perhitungan kalor yang melalui bidang kaca maupun beban kalor yang disebabkan oleh transmisi bidang dinding didasarkan dengan tabel dibawah ini.

Tabel 2. 9 Beban kalor (BTU/jam/ $m^2$ )

Bidang Kulit Bangunan	Beban kalor (BTU/jam/ $m^2$ )
Kaca:	
Sisi utara	800
Sisi selatan	400
Sisi timur	900
Sisi barat	1.000
Dinding:	
Arah utara	2,15 ( $t_0-t_1$ )
Arah selatan	2,15 ( $t_0-t_1$ )
Arah timur	2,15 ( $t_0-t_1$ )
Arah barat	2,16 ( $t_0-t_1$ )

Catatan: untuk Indonesia ( $t_0-t_1$ ) = 5°C

Sumber: (Juwana, 2005)

### 2.11.2 Beban Kalor Internal

Beban kalor internal terdiri dari dari Beban Sensibel Orang (BSO) dan Beban Laten Orang (BLO). Untuk menghitung BSO dan BLO digunakan rumus dibawah ini: (Juwana, 2005)

$$BSO = \text{Okupansi} \times 200 \quad (2.11)$$

$$BLO = \text{Okupansi} \times 250 \quad (2.12)$$

### 2.11.3 Beban Infiltrasi dan Ventilasi

Beban infiltrasi merupakan beban yang disebabkan oleh masukan udara luar ke dalam ruangan tanpa disengaja melalui celah-celah atau bukaan-bukaan yang ada pada jendela, pintu, dinding, dll. Sedangkan beban ventilasi merupakan beban yang disebabkan oleh masuknya udara luar dengan disengaja untuk mempertahankan kesegaran udara ruangan dan menjaga ruangan agar tak berbau. (Ahyadi, Suprijatmono and Bakti Pertiwi, 2022)

Kebutuhan udara suatu ruangan dapat diperoleh dengan rumus: (Juwana, 2005)

1. CFM (*Cubic Feet per Minute*) infiltrasi ( $CFM_1$ )

$$CFM_1 = \frac{P \times L \times T \times AC \times 35,31}{60} \quad (2.13)$$

Keterangan:

P = Panjang ruangan (m)

L = Lebar ruangan (m)

T = Tinggi ruangan (m)

AC = Pertukaran udara per jam yaitu 2

2. CFM (*Cubic Feet per Minute*) ventilasi ( $CFM_2$ )

$$CFM_2 = [ (t_0 - t_1) \times 1,08 + (Rh_0 - Rh_1) \times 0,67 ] \quad (2.14)$$

Jadi, untuk mencari Beban Pendingin (BP) menggunakan rumus: (Juwana, 2005)

$$BP = BSB + BSO + BLO + CFM_1 + CFM_2 \quad (2.15)$$

Kapasitas tata udara: (Juwana, 2005)

$$\text{Kapasitas} = \frac{BP}{9.000} \text{ PK} \quad (2.16)$$

Dapat diperhatikan pada tabel 2.10 yang menunjukkan ketetapan kapasitas AC.

Tabel 2. 10 Ketetapan kapasitas AC

Kapasitas AC (PK)	Setara Dengan (BTU/Hr)
½	5.000
¾	7.000
1	9.000
1,5	12.000
2	18.000
2,5	24.000
3	27.000
5	45.000

Sumber: (Abidin et al., 2021)

## 2.12 Daya Listrik

Daya listrik merupakan tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detiknya. Satuan daya listrik adalah Watt, dimana 1 Watt = 1 Joule/detik. Secara sistematis dapat ditulis dengan persamaan (2.17). (Setiaji, Sumpena and Sugiharto, 2022)

$$P = E/t \quad (2.17)$$

Dimana:

P = Daya listrik (Watt)

E = Energi (Joule)

T = waktu (detik)

### 2.12.1 Jenis Daya Listrik

Daya listrik terbagi atas 3 jenis, yakni:

#### 1. Daya aktif (P)

Daya aktif merupakan daya yang sebenarnya dibutuhkan beban dan biasanya daya aktif memiliki nilai yang lebih rendah dibanding dengan daya semu. Daya aktif akan mengalami penurunan nilai yang diakibatkan adanya beban-beban listrik yang menghasilkan daya reaktif. Secara sistematis dapat ditulis dengan rumus: (Setiaji, Sumpena and Sugiharto, 2022)

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.18)$$

Keterangan:

P = Daya aktif

V = Tegangan

I = Arus

$\cos \varphi$  = Faktor daya

#### 2. Daya semu (VA)

Daya semu merupakan daya yang dihasilkan dari perhitungan-perhitungan listrik sebelum dibebani dengan beban-beban listrik. Peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik yang bersifat resistansi tidak dapat dihemat karena tegangan

dan arus listrik memiliki nilai faktor daya 1. Secara sistematis dapat ditulis dengan rumus: (Setiaji, Sumpena and Sugiharto, 2022)

$$S = V \times I \quad (2.19)$$

Keterangan:

S = Daya Semu

V = Tegangan

I = Arus

### 3. Daya reaktif (VAR)

Daya reaktif merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya kerugian-kerugian daya, sehingga daya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai faktor daya ( $\cos\phi$ ). Untuk menghemat kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif. Secara sistematis dapat ditulis dengan rumus: (Setiaji, Sumpena and Sugiharto, 2022)

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.20)$$

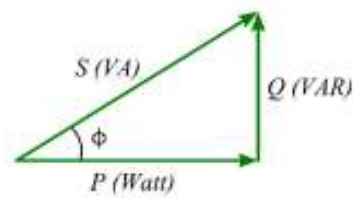
Keterangan:

Q = Daya reaktif

S = Daya semu

P = Daya Aktif

Segitiga daya listrik direpresentasikan oleh sisi-sisi segitiga yang saling tegak lurus, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Segitiga daya

Sumber: (Toba et al., 2023)

### 2.13 Mesin Jahit

Mesin jahit merupakan suatu peralatan mekanis atau elektromekanis yang berfungsi untuk mempermudah proses pembuatan jahitan dengan menggunakan jarum dan benang. (Kardiansyah and Fatimah, 2015). Untuk daya rata-rata mesin jahit khususnya di tempat yang digunakan penulis sebagai tempat penelitian, daya masukan mesin jahit berada di angka 238 Watt atau 0,238 kW. Dapat diperhatikan pada gambar dibawah merupakan gambar *nameplate* mesin jahit di tempat yang digunakan penulis sebagai tempat penelitian.

MODEL	electronic fee	working power	Standby power
F4		238W	4W

Gambar 2. 24 *Nameplate* mesin jahit

Sumber: Brosur Pembelian Produk

### 2.14 Efisiensi Mesin Produksi

Bertambahnya usia pada suatu mesin, kualitas pada suatu mesin akan menurun. Efisiensi suatu mesin merupakan suatu ukuran seberapa baik mesin dapat mengubah energi masukan listrik ke energi keluaran mekanik. (Nugraha, Duyo and Hasanuddin, 2022). Maka dari itu, untuk mengetahui efisien atau tidaknya dari

sebuah mesin perlu dilakukan analisis dengan melakukan pengecekan melalui pengukuran daya untuk mengetahui seberapa baik efisiensi mesin produksi. Apabila nilai efisiensi mesin produksi sudah diketahui, selanjutnya dibandingkan dengan standar efisiensi mesin dengan motor Listrik 1 fasa berdasarkan standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60034-30-1 tahun 2014 bahwasanya nilai minimum efisiensi mesin dengan motor 1 fasa berjalan di 58,2%. Untuk menghitung efisiensi pada mesin produksi dapat digunakan rumus berikut: (Halim, 2017)

$$\eta = \frac{P_{out} (Daya Ukur)}{P_{in} (Daya Nameplate)} \times 100\% \quad (2.21)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi energi (%)

$P_{out}$  = Daya yang diukur secara langsung

$P_{in}$  = Daya berdasarkan *nameplate* mesin

### 2.15 Identifikasi Peluang Hemat Energi

Identifikasi peluang hemat energi perlu diadakan setelah melakukan audit energi awal dan audit energi rinci. Hasil pengumpulan data, selanjutnya ditindak lanjuti dengan perhitungan besarnya nilai IKE bangunan dan penyusunan profil penggunaan energi bangunan. Apabila besar nilai IKE dari hasil perhitungan ternyata sama atau kurang dari standar IKE yang ada, maka kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau diteruskan untuk memperoleh nilai IKE yang lebih rendah lagi. Apabila hasilnya lebih dari standar IKE, maka terdapat peluang untuk melanjutkan proses audit energi rinci berikutnya guna memperoleh penghematan energi. (Derry Septian, Joko Prihartono and Purwo Subekti, 2014)

## 2.16 Analisis Peluang Hemat Energi

Analisis peluang hemat energi perlu ditindak lanjuti apabila peluang hemat energi telah teridentifikasi dan penghematan energi pada suatu bangunan harus tetap memperhatikan kenyamanan penghuni. Analisis peluang hemat energi dilakukan dengan usaha, diantaranya:

- a. Menekan penggunaan energi hingga sekecil mungkin (mengurangi daya terpasang/terpakai dan jam operasi).
- b. Memperbaiki kinerja peralatan.
- c. Menggunakan sumber energi yang murah. (Derry Septian, Joko Prihartono and Purwo Subekti, 2014)

Peluang Hemat Energi (PHE) akan didapatkan setelah dilakukan analisis PHE. Untuk menghitung nilai Peluang Hemat Energi (PHE) dapat digunakan rumus dibawah ini: (Pramesty, Suhardi, and Pakaya, 2021)

$$PHE = \Sigma \text{Energi Sebelum Penghematan} - \Sigma \text{Energi Setelah Penghematan} \quad (2.22)$$

Keterangan:

$\Sigma \text{Energi Sebelum Penghematan}$  = Energi yang digunakan sebelum dilakukan penghematan

$\Sigma \text{Energi Setelah Penghematan}$  = Energi yang digunakan setelah dilakukan penghematan

Rumus 2.22 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung nilai PHE dalam bentuk energi dengan satuan kWh, apabila dalam rupiah atau Rp:

$$\text{Biaya Penghematan} = \Sigma \text{Biaya Sebelum Penghematan} - \Sigma \text{Biaya Setelah Penghematan} \quad (2.23)$$

Keterangan:

Biaya Penghematan = Biaya yang didapat setelah dilakukan penghematan

$\Sigma \text{Biaya Sebelum Penghematan}$  = Biaya yang digunakan sebelum penghematan



$\Sigma$  Biaya Setelah Penghematan = Biaya yang digunakan setelah penghematan

### 2.17 Rekomendasi Hemat Energi

Rekomendasi hemat energi berisi suatu saran penghematan energi agar tercapainya penggunaan energi yang efisien. Saran hemat energi terdiri dari saran penghematan tanpa biaya sampai dengan biaya tinggi. Rekomendasi hemat energi disarankan oleh pemerintah setempat dikarenakan teruji dengan adanya Peraturan Menteri Energi serta Sumber Energi Mineral Republik Indonesia No. 14 tahun 2012 pasal 1 ayat 8-11 yang berbunyi:

1. Rekomendasi tanpa biaya merupakan saran hasil audit energi yang tidak memerlukan bayaran dalam mengimplementasikannya.
2. Rekomendasi biaya rendah merupakan saran hasil audit energi dengan kriteria potensi penghematan energi sampai dengan 10% dan/atau waktu pengembalian investasu kurang dari dua tahun.
3. Rekomendasi biaya menengah merupakan saran hasil audit energi dengan kriteria potensi penghematan energi antara 10-20% dan/atau waktu pengembalian investasi antara dua tahun sampai dengan empat tahun.
4. Rekomendasi biaya tinggi merupakan saran hasil audit energi dengan kriteria potensi penghematan energi lebih besar dari 20% dan/atau waktu pengembalian investasi lebih dari empat tahun.

Waktu pengembalian investasi atau *payback period* merupakan periode yang dibutuhkan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cash investment*). Untuk menghitung waktu pengembalian investasi atau *payback period* dapat menggunakan rumus sebagai berikut: (Kurniawan, 2019)

$$Payback\ Period = \frac{\Sigma Biaya\ Pergantian\ Rekomendasi\ (Nilai\ Investasi)}{\Sigma Biaya\ Penghematan\ (Kas\ Masuk)} \quad (2.24)$$

Keterangan:

$\Sigma Biaya\ Pergantian\ Rekomendasi\ (Nilai\ Investasi)$  = Total biaya pergantian setelah dilakukan rekomendasi

$\Sigma Biaya\ Penghematan\ (Kas\ Masuk)$  = Total biaya yang digunakan setelah dilakukan penghematan

### 2.18 Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Bangunan Baru

Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan baru didapatkan setelah selesai dilakukan kegiatan analisis Peluang Hemat Energi (PHE) yang dapat diperoleh. Untuk menghitung nilai IKE bangunan baru dapat menggunakan rumus berikut: (Fajri, 2023)

$$IKE = \frac{(IKE\ Awal) - (IKE\ Penghematan)}{Luas\ Bangunan} \quad (2.25)$$

Keterangan:

IKE awal = IKE bangunan sebelum dilakukan penghematan

IKE penghematan = Total penghematan energi yang didapat

### 2.19 Penelitian Terkait

Penelitian terkait dicantumkan penulis sebagai referensi dalam melakukan penelitian. Pada tabel 2.11 berisikan tentang referensi penelitian yang berkaitan dengan penelitian yang bertemakan tentang audit energi listrik.

Tabel 2. 11 Penelitian terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Keterkaitan Penelitian
1.	Audit Energi Sebagai Upaya Proses Efisiensi Pemakaian Energi Listrik Di Kampus Universitas Teuku Umar (UTU) Meulaboh	Muhammad Ikhsan, Maudi Saputra	Kampus Universitas Teuku Umar (UTU) Meulaboh, 2016	Penelitian ini melakukan audit energi dengan menganalisis IKE bangunan, sistem pencahayaan, dan sistem tata udara di Universitas Teuku Umar Meulaboh. Audit energi awal melakukan pengumpulan dan penyusunan energi bangunan. Audit energi rinci dilakukan penelitian dan pengukuran konsumsi energi. Pengukuran besarnya daya listrik untuk pencahayaan digunakan wattmeter dan pengukuran konsumsi energi menggunakan watt-jam meter yang dipasang tetap pada panel listrik yang melayani pencahayaan.

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Keterkaitan Penelitian
2.	Analysis of electrical audit and energy efficiency in building Hotel BC, North Jakarta	Agung Wahyudi Biantoro	Hotel BC, Jakarta Utara, 2018	Penelitian ini melakukan pemfokusan penghematan energi pada sistem tata udara dan penerangan di Hotel BC. Menghasilkan nilai IKE sebesar 645,58 $\text{KWh/m}^2/\text{tahun}$ , yang berarti lebih besar dari nilai standar yakni 300 $\text{KWh/m}^2/\text{tahun}$ , termasuk dalam kategori sangat boros.
3.	Energy auditing and electricity saving opportunities in BPOM laboratory of Manokwari	Asril Yanto Musa, Adelhard Beni Rehiara, dan Jamius Bin Stepanus	Laboratori BPOM Manokwari, 2023	Penelitian ini melakukan penghitungan pada konsumsi energi listrik bangunan, memberikan saran penggantian lampu neon TL menjadi LED jenis TL pada sistem pencahayaan, dan penjadwalan pada penggunaan AC. Berdasarkan konsumsi listrik yang telah dihitung, dalam sebulan laboratorium BPOM Manokwari mengkonsumsi 15.108,48 $\text{KWh}$ dengan luas bangunan $1.484 \text{ m}^2$ , mendapatkan nilai IKE sebesar 10,18 $\text{KWh/m}^2/\text{bulan}$ yang termasuk dalam kategori efisien.

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Keterkaitan Penelitian
4.	Audit Sistem Pencahayaan dan Sistem Pendingin Ruangan dalam Upaya Efisiensi Energi Listrik di Gedung Perkantoran PT. Varia Usaha Beton Plant Tambaksono Waru	Moch. Fajar A, Gatut Budiono, Balok Hariadi, Kukuh Setyadjit, Subekti Yuliananda	PT. Varia Usaha Beton Plant Tambaksono Waru, Surabaya, 2021	Penelitian ini melakukan analisis audit energi pada nilai IKE bangunan, kesesuaian intensitas cahaya sesuai standar pada sistem pencahayaan dan alat ukur yang digunakan untuk mengukur kuat pencahayaan menggunakan alat bernama Luxmeter, juga menghitung kebutuhan beban pendingin pada sistem pendingin ruangan (AC).
5.	Analisis dan Desain Tingkat Pencahayaan Pada Ruang Perpustakaan Universitas Iskandar Muda	Muhammad Riza Pahlevi, Muliadi	Universitas Iskandar Muda, Aceh, 2022	Penelitian ini menganalisis dan mendesain tingkat pencahayaan di perpustakaan UNIDA sesuai dengan standar SNI. Metode untuk menghitung tingkat pencahayaan tersebut menggunakan persamaan sesuai standar SNI 03-6575-2001 dan di desain menggunakan software DIALux Evo v.9.1.

Penelitian yang dilakukan oleh penulis memiliki perbedaan dan kebaruan dari penelitian terkait sebelumnya, yakni selain dari segi tempat penelitian di industri

garment, penelitian ini juga akan melakukan perhitungan nilai efisiensi pada mesin produksi di tempat yang digunakan penulis sebagai tempat penelitian.