

## **BAB II LANDASAN TEORI**

### **2.1 Besaran Listrik Dasar**

Terdapat tiga buah besaran listrik dasar yang digunakan di dalam teknik tenaga listrik yaitu beda potensial atau sering disebut sebagai tegangan listrik, arus listrik dan frekuensi. Ketiga besaran tersebut merupakan satu kesatuan pokok pembahasan di dalam masalah-masalah sistem tenaga listrik. Selain ketiga besaran tersebut, masih terdapat satu faktor penting didalam pembahasan sistem tenaga listrik yaitu daya dan faktor daya.

#### **2.1.1 Beda Potensial Listrik**

Menurut (Nugraha, 2019b) Tegangan Listrik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya. Tegangan listrik yang dinyatakan dengan satuan Volt ini juga sering disebut dengan beda potensial listrik karena pada dasarnya tegangan listrik adalah ukuran perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik. Suatu benda dikatakan memiliki potensial listrik lebih tinggi daripada benda lain karena benda tersebut memiliki jumlah muatan positif yang lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah muatan positif pada benda lainnya. Sedangkan yang dimaksud dengan Potensial listrik itu sendiri adalah banyaknya muatan yang terdapat dalam suatu benda. Beda potensial listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{W}{q} \quad (2.1)$$

Keterangan:

V = Beda potensial (V)

W = Usaha yang diperlukan (J)

q = Muatan arus listrik (C)

### 2.1.2 Arus Listrik

Menurut (Nugraha, 2019a) arus listrik adalah muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam tiap satuan waktu. Muatan listrik pada dasarnya dibawa oleh Elektron dan Proton di dalam sebuah atom. Proton memiliki muatan positif, sedangkan Elektron memiliki muatan negatif. Namun, Proton sebagian besar hanya bergerak di dalam inti atom. Jadi, tugas untuk membawa muatan dari satu tempat ke tempat lainnya ini ditangani oleh Elektron. Hal ini dikarenakan elektron dalam bahan konduktor seperti logam sebagian besar bebas bergerak dari satu atom ke atom lainnya. Arus listrik dirumuskan:

$$i = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

Keterangan:

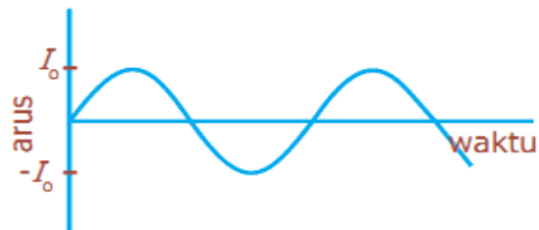
- i = Arus Listrik (A)
- Q = Jumlah Muatan (C)
- t = Waktu (s)

Arus listrik dibedakan menjadi dua macam, diantaranya arus bolak-balik atau arus AC dan ada arus searah atau arus DC.

#### 1. Arus Listrik AC

Menurut (Yohan Amral, 2015) arus listrik AC merupakan arus listrik yang besarnya dan arah aliran atau arusnya selalu berubah-ubah atau bolak-balik. Arus listrik AC akan membentuk suatu gelombang yang dinamakan dengan gelombang sinus atau lebih lengkapnya sinusoida. Di Indonesia sendiri listrik bolak-balik (AC) dipelihara dan berada dibawah naungan PLN. Tegangan standar yang diterapkan di Indonesia untuk listrik bolak-balik 1 (satu) fasa adalah 220 volt.

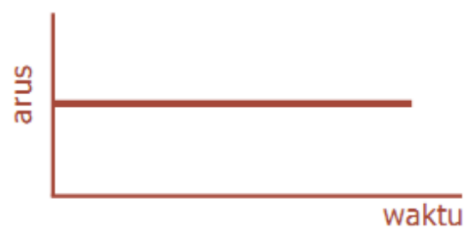
Pemanfaatan listrik AC sangatlah banyak contoh pemanfaatan energi listrik AC yang lain diantaranya untuk mesin cuci, penerangan, pompa air AC, kompor listrik, dan masih banyak lainnya.



Gambar 2.1 Gelombang Arus AC  
(A-har, 2017)

## 2. Arus Listrik DC

Menurut (Yohan Amral, 2015) arus listrik DC merupakan arus listrik searah. Pada awalnya aliran arus pada listrik DC dikatakan mengalir dari ujung positif menuju ujung negatif. Semakin kesini pengamatan-pengamatan yang dilakukan oleh para ahli menunjukkan bahwa pada arus searah merupakan arus yang alirannya dari negatif (elektron) menuju kutub positif. Beberapa beban elektronika yang menggunakan arus listrik DC diantaranya lampu LED (*Light Emitting Diode*), Komputer, Laptop, TV, Radio, dan masih banyak lagi. Selain itu listrik DC juga sering disimpan dalam suatu baterai, contohnya saja baterai yang digunakan untuk menghidupkan jam dinding, mainan mobil-mobilan dan masih banyak lagi.



Gambar 2.2 Gelombang Arus DC  
(A-har, 2017)

### 2.1.3 Frekuensi

Menurut (Nugroho et al., 2019) frekuensi merupakan jumlah gelombang dalam satu detik. Frekuensi listrik adalah banyaknya gelombang listrik yang terdapat dalam satu detik. Frekuensi listrik merupakan salah satu parameter gelombang listrik yang dapat mempengaruhi kinerja dari sistem tenaga listrik. Perubahan nilai frekuensi listrik bagi sebagian perangkat dapat berpengaruh besar. Salah satu akibat dari frekuensi listrik yang tidak stabil adalah mengakibatkan perputaran motor listrik sebagai penggerak mesin-mesin produksi pada industri manufaktur menjadi tidak stabil, dimana hal ini akan mengganggu proses produksi.

Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik, seperti rumus di bawah ini:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Keterangan:

f = frekuensi

T = periode

Di setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz, sedangkan di Amerika berlaku frekuensi 60 Hz.

## 2.2 Daya

Menurut (Agustianingsih et al., 2020) daya listrik adalah laju energi listrik yang terjadi pada suatu rangkaian listrik. Perubahan arus dan tegangan yang terjadi pada masukan daya dapat mempengaruhi besarnya nilai daya listrik yang dikeluarkan. Satuan daya dalam Satuan Internasional (SI) adalah Watt (W),

dimana 1 W. Hampir semua peralatan listrik menggunakan Watt, tapi ada juga peralatan tertentu yang menggunakan satuan *Horsepower* (hp). Dalam Konversinya, 1 hp = 746 watt. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung daya listrik :

$$P = V \times I \quad (2.4)$$

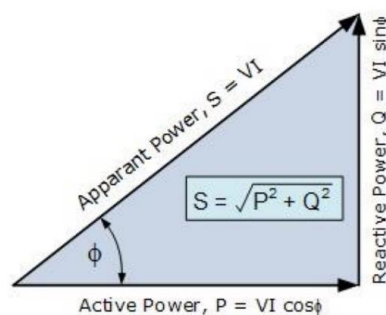
Keterangan :

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematis antara tipe-tipe daya yang berbeda (daya aktif, daya semu dan daya reaktif) berdasarkan prinsip trigonometri. Segitiga daya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Segitiga Daya  
(Lisiani et al., 2020)

### 1. Daya Aktif

Daya aktif atau biasa disebut sebagai daya nyata dapat diartikan sebagai daya yang dibutuhkan oleh suatu beban. Dalam satuan SI daya aktif dinyatakan dengan Watt (W) dan dilambangkan dengan huruf P. Daya nyata ini dapat mengubah suatu energi menjadi jenis energi lain. Misalnya saat menggunakan kompor listrik, dimana energi listrik dapat diubah menjadi energi panas. Berikut rumus untuk menghitung daya aktif yaitu:

$$1 \text{ fasa : } P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.5)$$

$$3 \text{ fasa : } P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (2.6)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\cos \varphi$  = Faktor daya

## 2. Daya Semu

Daya semu merupakan kapasitas daya keseluruhan yang disuplai dari PLN atau dengan kata lain daya semu merupakan daya yang terbaca pada alat ukur. Dalam satuan SI daya semu adalah Volt Ampere (VA) dan dilambangkan dengan huruf S. Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R), contohnya lampu pijar, setrika listrik, kompor listrik dan lain sebagainya. Berikut persamaan untuk menghitung daya semu:

$$1 \text{ fasa : } S = V \times I \quad (2.7)$$

$$3 \text{ fasa : } S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (2.8)$$

Keterangan :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

## 3. Daya reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang timbul akibat adanya suatu lilitan atau kumparan pada sebuah beban seperti transformator, motor dan lain-lain. Lilitan atau kumparan tersebut mengakibatkan induksi elektromagnetik yang dapat menimbulkan daya reaktif. Dalam satuan SI daya reaktif adalah Volt Ampere reactive (VAr) dan lambangkan dengan huruf Q. Berikut Persamaan untuk menghitung daya reaktif yaitu:

$$1 \text{ fasa : } Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.9)$$

$$3 \text{ fasa : } Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \quad (2.10)$$

Keterangan :

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\sin \varphi$  = Faktor reaktif

### 2.3 Sistem Beban Listrik

Dalam suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban.

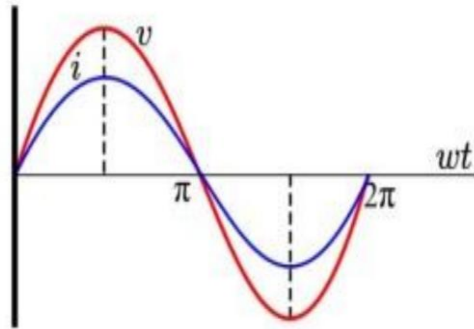
Pada sumber listrik AC beban dibedakan menjadi 3 bagian yaitu :

#### 2.4.1 Beban Resistif

Beban resistif yang merupakan beban listrik AC yang bersifat resistor murni, contohnya resistor, lampu LED, pemanas dll (Lisiani et al., 2020). Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali dan gelombang arus dan tegangannya sefasa atau tidak ada pergeseran fasa. Impedansi yang bersifat resistif dapat terjadi pada impedansi yang terjadi bahan resistif murni atau rangkaian dari R, I, dan C baik dipasang secara seri atau dipasang paralel.



Gambar 2.4 Rangkaian Beban Resistif  
(Lisiani et al., 2020)



Gambar 2.5 Bentuk Gelombang Beban Resistif  
(Lisiani et al., 2020)

Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Sifat beban resistif itu adalah arus beban resistif sefasa dengan tegangannya atau faktor daya atau  $\cos \phi = 1$  (Mariyadi, 2022). Apabila bebannya merupakan beban resistif, maka daya aktif sama dengan daya yang sebenarnya atau daya semu.

Berikut merupakan beberapa contoh beban resistif diantaranya :



a) Lampu Pijar



b) Solder

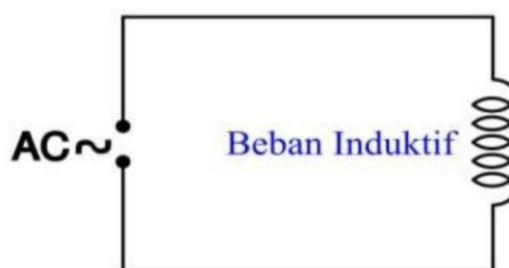
Gambar 2.6 Contoh Beban Resistif

Gambar 2.6 a) merupakan lampu pijar yang menjadi salah satu contoh beban resistif yang dimana energi listrik diubah menjadi energi cahaya, yang berfungsi untuk menerangi suatu ruangan. Gambar 2.6 b) merupakan solder dan juga salah satu contoh beban resistif yang merubah energi listrik menjadi energi panas.



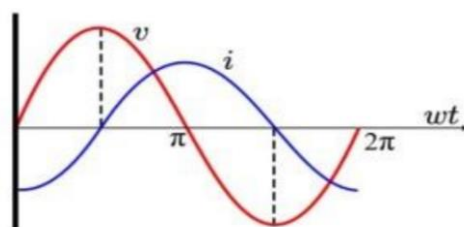
### 2.4.2 Beban Induktif

Menurut (Lisiani et al., 2020) beban induktif adalah beban yang menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan faktor daya lagging, yaitu saat tegangan mendahului arus sebesar sudut  $\theta$ . Beban induktif disebabkan oleh kumparan motor, trafo, koil, solenoida dll yang menyebabkan pergeseran fasa arus dan tegangan. Beban induktif bersifat lagging (arus tertinggal terhadap tegangan) dan beban induktif tidak mengkonsumsi daya nyata. Contoh beban induktif yaitu lampu TL, motor listrik, transformator, relay, dan semua peralatan rumah tangga yang menggunakan belitan.



Gambar 2.7 Rangkaian Beban Induktif  
(Lisiani et al., 2020)

Untuk beban induktif murni ( $\cos\phi = 0$  lag) arus akan tertinggal sebesar  $90^\circ$  dari tegangan. Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Dengan kata lain reaksi jangkar akan demagnetising artinya pengaruh reaksi jangkar akan melemahkan fluksi arus medan (Mariayadi, 2022).



Gambar 2.8 Bentuk Gelombang Induktif  
(Lisiani et al., 2020)

Berikut merupakan contoh beban induktif diantaranya :



Gambar 2.9 Contoh Beban Induktif

Gambar 2.9 trafo merupakan salah satu contoh beban induktif yang dapat menyebabkan pergeseran arus dan tegangan atau lagging atau arus tertinggal terhadap tegangan.

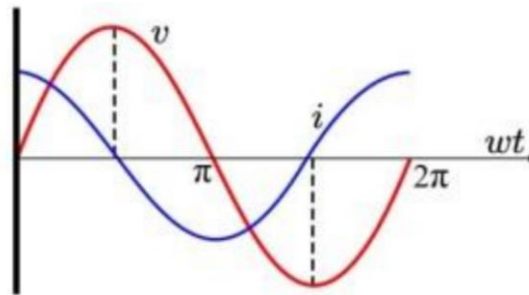
### 2.4.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung komponen pasif, yaitu kapasitor. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Bentuk gelombang dari beban kapasitif adalah arus mendahului tegangan. (Lisiani et al., 2020)



Gambar 2.10 Rangkain Beban Kapasitif  
(Lisiani et al., 2020)

Menurut (Mariyadi, 2022) beban kapasitif ini berfungsi menyimpan muatan listrik. Beban kapasitif diantaranya terdapat pada saluran penghantar, mesin sinkron berpenguatan lebih, kapasitor dan lain sebagainya. Kapasitor memiliki simbol (C) dengan satuan Farad. (Mariyadi, 2022)



Gambar 2.11 Bentuk Gelombang Kapasitif  
(Lisiani et al., 2020)

Untuk beban kapasitif murni ( $\cos\phi = 0$  lead) arus akan mendahului tegangan  $90^\circ$ . Fluksi yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluksi arus medan sehingga reaksi jangkar yang terjadi akan magnetizing artinya pengaruh reaksi jangkar akan menguatkan fluksi arus medan. (Mariyadi, 2022).

#### 2.4 Sistem Pencahayaan

Menurut (Dr. Vladimir, 2019) Standar pedoman pencahayaan bangunan gedung yang mengacu pada SNI 03-6197-2011 untuk mendapatkan pengoperasian sistem pencahayaan yang optimal tanpa mengurangi kenyamanan dan produktivitas karyawan. Hasil kuantitas cahaya pada sistem pencahayaan dapat dihitung menggunakan metode lumen atau metode titik pencahayaan. Untuk metode lumen, hasil perhitungannya disesuaikan dengan standar kuat pencahayaan pada area objek tanpa melihat keefektifan penggunaan pencahayaan tersebut.

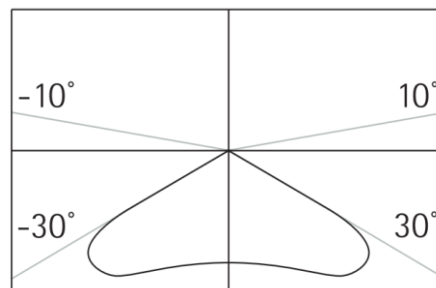
Sesuai dengan SNI 03-6575-2001, tingkat pencahayaan yang digunakan untuk ruang perpustakaan, kelas dan ruangan sekolah lainnya sudah ditentukan. Tingkat pencahayaan sesuai dengan SNI ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tingkat Pencahayaan Minimum

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Ruang kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Ruang rapat	300	1 atau 2	
Ruang kerja	350	1 atau 2	
Ruang komputer	350	1 atau 2	Untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor gunakan armatur berkisi.
Laboratorium	500	1	
Ruang gambar	750	1	Pada meja gambar gunakan pencahayaan setempat.
Teras	60	1 atau 2	
Kamar mandi	250	1 atau 2	
Gudang	150	3 atau 4	
Dapur	250	1 atau 2	
Lobby, koridor	100	1	
Kantin	200	1	

Sumber : (Pahlevi, 2022)

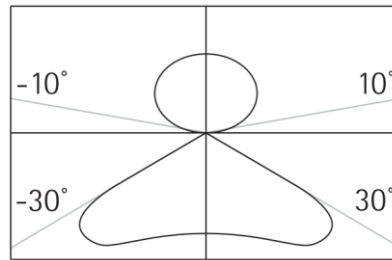
### 1. Penerangan Langsung (*Direct Lighting*)



Gambar 2.12 Penerangan Langsung (Hofmann, n.d.)

Menurut (Setiawan & Hartanti, 2014) Penerangan langsung adalah suatu teknik pencahayaan yang paling sederhana yang sumber cahaya ditata agar bisa menyinari suatu area atau ruang secara langsung. Biasanya teknik ini digunakan untuk ruang yang membutuhkan kualitas cahaya yang cukup terang dan seringkali juga bermaksud menonjolkan bentuk lampu yang digunakan. Penerangan ini biasa dipasang di atap.

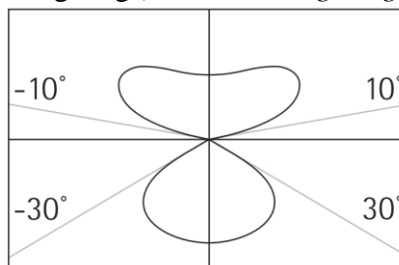
## 2. Penerangan Tidak Langsung (*Indirect Lighting*)



Gambar 2.13 Penerangan Tidak Langsung  
(Hofmann, n.d.)

Menurut (Setiawan & Hartanti, 2014) Penerangan tidak langsung adalah teknik pencahayaan yang menempatkan sumber cahaya (lampu) secara tersembunyi, sehingga cahaya yang terlihat dan menerangi ruang akan berupa pantulan cahaya, bukan cahaya langsung dari lampu. Lampu biasanya terletak di samping ceiling yang diturunkan atau dibalik dinding, bisa juga di balik lemari, dan masih banyak lagi.

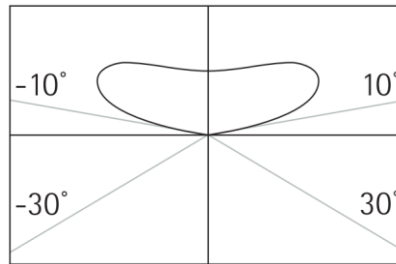
## 3. Penerangan Semi Langsung (*semi direct lighting*)



Gambar 2.14 Penerangan Semi Langsung  
(Hofmann, n.d.)

Menurut (KRISTIAN et al., 2018) Pada sistem pencahayaan semi langsung, sebanyak 60 – 90% cahaya diarahkan langsung kepada benda-benda yang perlu diterangi, sedangkan sisanya akan dipantulkan ke langit-langit dan dinding.

#### 4. Penerangan Semi Tidak Langsung (*semi direct lighting*)



Gambar 2.15 Penerangan Semi Tidak Langsung  
(Hofmann, n.d.)

Menurut (KRISTIAN et al., 2018) Pada sistem pencahayaan semi tidak langsung, sebanyak 60 – 90% cahaya diarahkan ke langit-langit dan dinding bagian atas dan sisanya ke bawah. Dengan demikian, langit-langit memerlukan perhatian lebih dengan dilakukannya pemeliharaan yang baik

#### 5. Penerangan difus (*general diffuse lighting*)

Menurut (KRISTIAN et al., 2018) Pada sistem pencahayaan difus, sebanyak 40 – 60% cahaya diarahkan kepada permukaan yang perlu diterangi, selebihnya lagi menerangi langit-langit dan dinding untuk kemudian dipantulkan.

### 2.4.1 Efisiensi Sistem Pencahayaan

Efisiensi pada sistem pencahayaan yaitu perbandingan Fluks cahaya yang mencapai bidang kerja dengan fluks cahaya yang dipancarkan oleh semua sumber yang ada pada ruangan. Efisiensi yang disarankan yaitu lebih besar dari 60%, jika dibawah dari nilai tersebut maka penggantian lampu dapat dilakukan secara berkelompok agar tidak mengganggu kegiatan pada perusahaan. Semakin besar pada nilai efisiensi, maka akan semakin hemat sistem pencahayaan pada suatu ruangan (SNI 6197, 2011). Berikut persamaan untuk menentukan efisiensi pencahayaan yaitu:

$$\eta = \frac{E_{\text{pengukuran}} \times A}{\frac{\phi_{\text{total}}}{\eta \times d}} \quad (2.11)$$

Keterangan :

- $\eta$  = efisiensi
- A = luas ruangan
- $E_{\text{pengukuran}}$  = hasil pengukran
- $\phi_{\text{total}}$  = jumlah lumen yang digunakan tiap ruangan

Untuk mengetahui efisiensi pada sistem pencahayaan, maka harus diperhitungkan:

- a. Faktor refleksi dinding (rw)
- b. Faktor refleksi langit-langit (rp)
- c. Faktor refleksi bidang pengukuran (rm)
- d. Indeks ruangan (k)

#### 1. Faktor Refleksi (r)

Bagian fluks cahaya yang dipantulkan ditentukan oleh faktor refleksi (r) suatu ruangan, berikut perhitungan untuk mengetahui faktor refleksi atau pemantulan:

$$r = \frac{\text{fluks cahaya yang dipantulkan}}{\text{flux cahaya yang mengenai permukaa}} \quad (2.12)$$

Pengukuran pada fluks cahaya yang mengenai permukaan (sinar datang) yaitu pada lux meter diletakkan pada permukaan objek dan dihadapkan langsung mengenai cahaya yang akan datang pada objek dengan jarak 0,75 m dari permukaan lantai. Sedangkan pada pengukuran fluks cahaya yang dipantulkan atau sinar pantul diukur dengan jarak 5cm dari permukaan objek.

Terdapat faktor refleksi berdasarkan warna dinding dan langit ruangan sebagai berikut:

- a. Warna putih = 0,8
- b. Warna sangat muda = 0,7
- c. Warna muda = 0,5
- d. Warna sedang = 0,3
- e. Warna gelap = 0,1

Perhitungan untuk angka refleksi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Angka refleksi} = \frac{\text{Erata-rata sinar pantul ruangan (lux)}}{\text{Erata-rata sinar langsung ruangan (lux)}} \times 100\% \quad (2.13)$$

Angka refleksi didapatkan dari pengukuran pada bidang kerja dinding dan bidang ukur/lantai. Pengukuran refleksi langit-langit tidak dilakukan dikarenakan keterbatasan pada pengukuran.

## 2. Indeks Ruang (k)

Indeks ruangan dihitung berdasarkan dimensi ruangan yang akan diberikan penerangan. Nilai pada indeks ruangan dari hasil perhitungan digunakan untuk menentukan nilai efisiensi sistem pencahayaan, dengan persamaan sebagai berikut:

$$k = \frac{p \times l}{h(p+l)} \quad (2.14)$$

Keterangan :

p = panjang ruangan (m)

l = lebar ruangan (m)

h = tinggi sumber cahaya dari bidang kerja (m)

## 3. Faktor Penyusutan

Faktor penyusutan atau depresiasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pada efisiensi sistem pencahayaan. Faktor depresiasi ini dibagi menjadi tiga golongan:

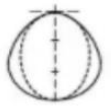
- a. Pengotoran ringan: terjadi di pertokoan, perkantoran dan Gedung sekolah yang di daerah hampir tidak berdebu. Biasanya terpakai dalam 1 tahun.
- b. Pengotoran biasa: terjadi di perusahaan lainnya seperti industry. Biasanya setelah terpakai 2 tahun.



c. Pengotoran berat: terjadi pada ruangan yang banyak debu, seperti perusahaan perminyakan, pertambangan dan lainnya. Biasanya setelah dipakai 3 tahun.

4. Tabel-Tabel Penerangan

Penentuan nilai efisiensi penerangan pada sebuah bangunan dapat dilihat pada tabel efisiensi penerangan, dimana harus memperhatikan efisiensi armaturnya, faktor depresiasi, faktor refleksi dan indeks ruangan.

Armatur penerangan langsung	v	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan				
		k	r <sub>w</sub>	r <sub>p</sub> 0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun
				0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1			
TBS 15	0,5	0,28	0,23	0,19	0,27	0,23	0,19	0,27	0,22	0,19					
TCS 15	0,6	0,33	0,28	0,24	0,32	0,28	0,24	0,32	0,27	0,24					
4 x TL 40 W	0,8	0,42	0,36	0,33	0,41	0,36	0,32	0,40	0,36	0,32					
Kisi lamel	1	0,48	0,43	0,40	0,47	0,43	0,39	0,46	0,42	0,39					
	1,2	0,52	0,48	0,44	0,51	0,47	0,44	0,50	0,46	0,43					
	1,5	0,56	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49	0,54	0,51	0,48					
	2	0,61	0,58	0,55	0,60	0,57	0,54	0,59	0,56	0,54					
	2,5	0,64	0,61	0,59	0,63	0,60	0,58	0,62	0,59	0,57					
	72	3	0,66	0,64	0,61	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60				
	4	0,69	0,67	0,65	0,68	0,66	0,64	0,66	0,65	0,63					
	72	5	0,71	0,69	0,67	0,69	0,68	0,66	0,68	0,66	0,65				

Gambar 2.16 Efisiensi Armatur Penerangan Langsung (P VAN HARTEN DAN IR E SETIAWAN, 2002)

2.5 Sistem Tata Udara

Menurut (Sanurya Putri Purbaningrum, 2014) Pengadaan suatu sistem tata udara adalah agar tercapai kondisi temperatur, kelembapan, kebersihan, dan distribusi udara dalam ruangan dapat dipertahankan pada tingkat keadaan yang diharapkan. Pendingin ini berfungsi untuk menciptakan kondisi nyaman bagi beberapa aktivitas manusia. Persyaratan termal yang ditetapkan pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran adalah :

Suhu : 18 - 28

Kelembapan : 40% - 60%

Kapasitas AC disebut dengan *Paard Kracht* (PK), istilah pada PK AC juga bisa disebut dengan tenaga dari AC atau sumber daya yang dibutuhkan pada BTU (*British Thermal Unit*). BTU berfungsi untuk menentukan tingkat kesejukan udara yang dihasilkan. Ketetapan kapasitas AC yang umumnya menjadi ukuran untuk menentukan penggunaan jumlah AC yang seharusnya terpasang dengan menyesuaikan luas ruangan sehingga dapat diperoleh kapasitas atau PK AC yang tepat dan penggunaannya dapat efisien, untuk menentukan kebutuhan AC dapat diperhatikan pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Penentuan Kebutuhan AC

Kapasitas AC (PK)	BTU/Jam	Luas Ruangan (m <sup>2</sup> )
½	5.000	10
¾	7.000	12
1	9.000	16
1.5	12.000	24
2	18.000	48

Sistem pendingin ini berfungsi untuk menciptakan kondisi nyaman bagi beberapa aktivitas, semakin nyaman suatu ruangan maka akan meningkatkan tingkat produktifitas di dalamnya.

### 2.5.1 Efisiensi *Air conditioner* (AC)

Menyatakan efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen, dan efisiensi yang baik minimal berada pada 80% - 95%. Yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{p_{output}}{p_{input}} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{output}$  = Daya kapasitas (watt) = 1Btu/jam = 0,293 watt

$P_{input}$  = Daya masukan (watt)

### 2.5.2 Konservasi Energi Sistem Pendingin

Menurut SNI 6390:2011, konservasi energi pada sistem tata udara bangunan gedung, yaitu upaya sistematis, terencana, dan terpadu untuk melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta untuk melestarikan efisiensi pemanfaatannya tanpa mengorbankan tuntutan kenyamanan manusia dan atau menurunkan kinerja alat. Dibagi menjadi dua faktor kunci dalam konservasi energi pada sistem tata udara, yang pertama yaitu kondisi udara perancangan terkait dengan kondisi kenyamanan termal ruang, dan kondisi udara luar yang ditetapkan sebagai kondisi perancangan. Mempertimbangkan adanya variasi pada kenyamanan termal yang berbeda antara individu yang satu dengan yang lainnya, kondisi termal ruang perancangan ditetapkan dalam satu rentang temperatur nyaman berdasarkan sejumlah penelitian kenyamanan termal yang dilakukan di Indonesia dan Asia Tenggara.

Untuk perhitungan secara rinci pada sistem pendingin, perlu diketahui ukuran ruangan seperti panjang, lebar dan tinggi pada ruangan, suhu ( $t_0$ ) dan kelembapan ( $Rh_0$ ) di luar ruangan, suhu ( $t_1$ ) dan kelembapan ( $Rh_1$ ) yang biasanya sekitar 50-80% di dalam ruangan, kulit bangunan, tinggi jendela dan langit-langit serta tingkat penghunian bangunan (okupansi).

$$\text{Okupansi} = \frac{L_{bruto}}{L_{perorang}} \quad (2.16)$$

#### 1. Beban Sensibel Bangunan (BSB)

Pada perhitungan beban sensibel bangunan, baik beban kalor yang melalui bidang kaca maupun beban kalor yang disebabkan oleh transmisi bidang dinding, perlu ditentukan nilai-nilai yang terkait, seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Beban Kalor

Bidang Kulit Bangunan	Beban Kalor (BTU/jam/m <sup>2</sup> )
Kaca	
Sisi utara	800
Sisi selatan	400
Sisi timur	900
Sisi barat	1000
Dinding	
Arah utara	2,15 (t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub> )
Arah selatan	2,15 (t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub> )
Arah timur	2,15 (t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub> )
Arah barat	2,15 (t <sub>0</sub> -t <sub>1</sub> )

Maka Beban Sensibel Bangunan (BSB) :

$$BSB = L_{bidang} \times Bebankalor \quad (2.17)$$

### 2. Beban Kalor Internal

Beban pada kalor internal terdiri dari beban sensibel orang atau melalui pendekatan dapat digunakan nilai Beban Sensibel Orang (BSO) dan Beban Laten Orang (BLO), sebagai berikut:

#### a. Beban Sensibel Orang (BSO) :

$$BSO = Okupansi. 200 \text{ BTU/Jam} \quad (2.18)$$

#### b. Beban Laten Orang (BLO) :

$$BLO = Okupansi. 250 \text{ BTU/Jam} \quad (2.19)$$

### 3. Beban Ventilasi atau Infiltrasi:

#### a. CFM Infiltrasi (CFM<sub>1</sub>)

$$CFM_1 = \frac{P.L.T.AC.35,31}{60} \text{ BTU/Jam} \quad (2.20)$$

Keterangan :

- P = Panjang ruangan (m)
- L = Lebar ruangan (m)
- T = Tinggi ruangan (m)
- AC = Jumlah pada pertukaran udara per-jam (umumnya 2)

b. CFM Ventilasi ( $CFM_2$ ):

$$CFM_2 = [(t_0 - t_1) \cdot 1,08 + (Rh_0 - Rh_1) \cdot 0,67] \quad (2.21)$$

c. Beban Pendingin (BP):

$$BP = BSB + BSO + BLO + CFM_1 + CFM_2 \quad (2.22)$$

d. Kapasitas tata udara:

$$\text{Kapasitas} = \frac{BP}{12000} \text{ TR} \quad (2.23)$$

e. Kompensor:

$$1 \text{ PK} = 9000 \text{ BTU/jam}$$

$$\text{Kompensor} = \frac{BP}{9000} \text{ TR} \quad (2.24)$$

## 2.6 Manajemen Energi

Menurut (Kartika Ayu, 2017) Manajemen energi adalah kegiatan di suatu perusahaan yang terorganisir dengan menggunakan prinsip-prinsip manajemen, dengan tujuan agar dapat dilakukan konservasi energi, sehingga biaya energi sebagai salah satu komponen biaya produksi/operasi dapat ditekan serendah-rendahnya.

Menurut (Prasetya, 2014) konservasi adalah pelestarian atau perlindungan. Sedangkan untuk konservasi energi adalah kegiatan pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan. Tujuan konservasi energi adalah untuk memelihara kelestarian sumber daya alam yang berupa sumber energi melalui kebijakan pemilihan teknologi dan pemanfaatan energi secara efisien untuk mewujudkan kemampuan penyediaan energi.

Manajemen energi secara umum dapat didefinisikan sebagai manajemen yang berdampak langsung pada organisasi, teknik dan aksi yang ekonomis dalam rangka meminimalisasi konsumsi energi, termasuk energi untuk produksi/kegiatan dan untuk meminimalisasi konsumsi bahan baku dan bahan tambahan lainnya. Dengan demikian manajemen energi merupakan kegiatan yang terstruktur terhadap energi dengan tujuan mengurangi konsumsi energi secara terus menerus dan menjaga peningkatan yang telah dicapai. Manajemen energi dilaksanakan mengikuti pola *Deming Circle* (PDCA) dimana melalui pembuatan kebijakan, perencanaan aksi, penerapan dan evaluasi yang terus menerus menuju perbaikan. Dengan demikian manajemen energi bukan tujuan tetapi merupakan kegiatan yang memperhatikan energi dalam kegiatan manajemen sehari-hari.

## 2.7 Efisiensi Energi

Efisiensi energi adalah usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan, dalam menggunakan sebuah peralatan atau bahkan sistem yang berhubungan dengan energi. Persentase perbedaan daya masuk dan daya keluar tersebutlah yang disebut efisiensi. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.25)$$

Apabila peluang hemat energi telah diidentifikasi, selanjutnya perlu ditindak lanjuti dengan analisis peluang hemat energi, yaitu dengan cara membandingkan potensi perolehan hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi yang direkomendasikan.

## 2.8 Audit Energi

Menurut (Indra Dwi Prakoso, 2020) audit energi adalah proses evaluasi pemanfaat energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada suatu perusahaan. Tujuannya adalah untuk melakukan verifikasi bahwa subjek dari audit telah diselesaikan atau berjalan sesuai dengan standar, regulasi, dan praktik yang telah disetujui dan diterima.

Keuntungan dari audit energi adalah meningkatkan pengetahuan tentang efisiensi energi, mengidentifikasi biaya energi yang digunakan, mengidentifikasi dan meminimumkan hal yang terbuang, membuat perubahan prosedur, peralatan, dan sistem untuk menyimpan energi, menghematkan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, menjaga lingkungan dengan mengurangi pembangkitan tenaga, mengurangi running costs.

Menurut (Riyadi & Tambunan, 2018) Dalam melaksanakan audit energi diharapkan:

- a. Dapat diketahui besarnya intensitas konsumsi energi (IKE) pada bangunan tersebut
- b. Dapat dicegah pemborosan energi tanpa harus mengurangi tingkat kenyamanan gedung yang berarti pula penghematan biaya energi
- c. Dapat diketahui profil penggunaan energi
- d. Dapat dicari upaya yang perlu dilakukan dalam usaha meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

### 2.9.1 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Menurut (Untoro et al., 2014) Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik adalah pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan. Atau dapat ditulis dengan menggunakan rumus :

$$IKE = \frac{\text{pemakaian energi listrik (kWh)}}{\text{luas bangunan}} \quad (2.26)$$

Menurut Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasannya di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional nilai IKE dari suatu bangunan gedung digolongkan dalam dua kriteria, yaitu untuk bangunan ber AC dan bangunan tidak ber-AC.

Tabel 2.4 Standar IKE bangunan gedung ber AC dan non AC

Kriteria	Ruangan berAC	Ruangan nonAC
Sangat Efisien	(50 – 95) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	(10 – 20) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun
Efisien	(95 – 145) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	(20 – 30) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun
Cukup Efisien	(145 – 175) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	-
Agak Boros	(175 – 230) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	-
Boros	(230 – 285) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	(30 – 40) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun
Sangat Boros	(285 – 450) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun	(40 – 50) kWh/m <sup>2</sup> /Tahun

Nilai pada IKE ini sangat dipengaruhi oleh besar pemakaian energi pada gedung tersebut, jika tidak ada upaya penghematan energi maka akan berujung pada pemborosan. Berdasarkan nilai IKE dari perhitungan dibandingkan dengan target IKE, jika hasilnya ternyata sama atau kurang dari target IKE, maka kegiatan konservasi energi yang rinci dapat dihentikan atau bisa diteruskan dengan harapan dapat diperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Namun sebaliknya jika hasil lebih besar dari target IKE, maka ada peluang untuk melanjutkan proses konservasi energi berikutnya untuk memperoleh penghematan energi.