

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Energi Listrik**

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama dan dibutuhkan dalam berbagai kegiatan. Kebutuhan energi listrik akan terus meningkat seiring dengan adanya peningkatan baik dari jumlah penduduk, perkembangan teknologi dan lainnya. Fungsi dari energi listrik dalam kehidupan sehari-hari yaitu untuk penerangan, pemanas, motor-motor listrik dan lainnya. Energi listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan (Wahid et al., 2014). Bila daya diukur dalam watt jam, maka:

$$W = P \times t \quad (2.1)$$

Keterangan: P = Daya (Kw)

t = Waktu (h)

W = Energi (Kwh)

#### **2.2. Manajemen Energi**

Manajemen energi yaitu sebuah fungsi dan teknik manajemen untuk memonitoring, menganalisis dan mengontrol aliran energi yang bekerja dalam sebuah sistem untuk mencapai efisiensi penggunaan yang maksimum. Manajemen energi juga dapat diartikan sebagai kegiatan yang terstruktur terhadap energi dengan tujuan mengurangi konsumsi energi secara terus menerus, atau 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 yang dapat ditekan serendah-rendahnya (Kartika, 2017).

Pengertian pada manajemen energi menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 14 tahun 2012 yaitu disebutkan bahwa manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi konsumsi bahan baku dan bahan pendukung (Dan & Kpknl, 2017).

### **2.3. IKE (Intensitas Konsumsi Energi)**

Intensitas konsumsi energi (IKE) yaitu istilah yang digunakan untuk menyatakan perbandingan antara jumlah total energi yang digunakan dengan luas pada bangunan gedung dalam periode waktu tertentu. Nilai pada IKE ini dapat digunakan untuk acuan mengetahui potensi penghematan energi yang dapat dilakukan pada setiap ruangan ataupun sebuah gedung secara keseluruhan dalam rangka konservasi energi (Adhiaksa et al., 2019).

Intensitas konsumsi energi listrik ini menunjukkan besarnya penggunaan energi di dalam ruang atau bangunan, pada nilai intensitas konsumsi energi ini sudah digunakan di beberapa negara ASEAN dan APEC yang dinyatakan dalam satuan kWh/m<sup>2</sup>/tahun dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.1. Standar IKE Bangunan Gedung di Indonesia**

Jenis Gedung	IKE (kWh/m <sup>2</sup> /tahun)
Perkantoran (Komersial)	240 kWh/m <sup>2</sup> /tahun
Pusat Perbelanjaan	330 kWh/m <sup>2</sup> /tahun
Hotel dan Apartemen	300 kWh/m <sup>2</sup> /tahun
Rumah Sakit	380 kWh/m <sup>2</sup> /tahun

(Maulida et al., 2019)

Pada tabel 2.2. merupakan nilai pemakaian IKE pada gedung ber AC dan gedung non AC berdasarkan formula perhitungan dalam peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 38 tahun 2012 yaitu:

**Tabel 2.2. Standar IKE bangunan gedung ber AC dan non AC**

Kriteria	Gedung kantor ber AC (kwh/m <sup>2</sup> /tahun)	Gedung kantor non AC (kwh/m <sup>2</sup> /tahun)
Sangat efisien	50-95	10-20
Efisien	95-145	20-30
Cukup efisien	145-175	-
Agak boros	175-230	-
Boros	230-285	30-40
Sangat boros	285-450	40-50

(Priyatama, 2018)

Standar pada IKE yang digunakan yaitu sebagai tingkat penggunaan energi gedung dapat berbeda-beda, karena dipengaruhi oleh pendekatan analisa dan sampel gedung yang diambil dalam proses perumusan standar tersebut. Nilai IKE dapat digunakan sebagai nilai perbandingan dengan batas standar yang ada, sehingga dapat diketahui seberapa efisien sebuah ruangan atau gedung tersebut (Maulida et al., 2019).

Perhitungan IKE dapat dilakukan setelah mendapatkan data luas pada bangunan ( $m^2$ ) tersebut. Rumus untuk menghitung nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yaitu:

$$IKE = \frac{kWh \text{ total (kWh/tahun)}}{Luas \text{ total (} m^2 \text{)}} \quad (2.2)$$

a. Intensitas Konsumsi Energi Non-AC

$$IKE = \frac{\text{Total Konsumsi Energi (kWh)} - \text{Konsumsi Energi AC}}{\text{Luas total (m}^2\text{)}} \quad (2.3)$$

b. Intensitas Konsumsi Energi menggunakan AC

$$IKE = \frac{\text{Konsumsi Energi AC}}{\text{Luas lantai ber-AC (m}^2\text{)}} \quad (2.4)$$

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 (Gunawan, 2018).

#### **2.4. Efisiensi Energi Listrik**

Efisiensi energi merupakan kegiatan pada suatu tempat yang teroganisir dengan menggunakan prinsip-prinsip manajemen, tujuannya agar dapat dilakukan konservasi energi, sehingga biaya produksi pada energi dapat ditekan serendah-rendahnya. Langkah konservasi energi diperlukan untuk mengetahui peluang penghematan sebagai dasar target penyusunan penghematan energi (Kartika, 2017).

Efisiensi energi pada gedung dilihat sebagai pendekatan agar pengoprasian gedung lebih efisien dan juga efektif serta menghindari pemborosan. Menurut Badan Energi Internasional (2015), Efisiensi energi merupakan cara mengatur dan menahan peningkatan konsumsi energi. Sesuatu akan lebih hemat energi jika memberikan lebih banyak layanan untuk memasukan energi yang sama, atau

layanan yang sama untuk masukan pada energi yang lebih sedikit. Dikatakan efisien, jika dalam proses kegiatannya terdapat perbaikan, misal menjadi lebih murah atau dalam proses perhitungan digunakan untuk memaksimalkan penggunaan energi secara efektif.

## **2.5. Sistem Pencahayaan**

Sistem pencahayaan yaitu yang berkaitan dengan tata cahaya dan merupakan salah satu sistem yang sangat dibutuhkan pada suatu bangunan, karena sangat berpengaruh pada kenyamanan, kualitas kerja dan produktifitas dalam bekerja. Sistem pencahayaan yang baik, harus memenuhi kualitas yang baik dan hemat energi (A et al., 2021).

Sumber pada pencahayaan dibagi menjadi dua yaitu sumber cahaya alami dan sumber cahaya buatan.

1. Pencahayaan alami, yaitu sumbernya berasal dari alam (sinar matahari) yang digunakan untuk menerangi pada ruangan baik secara langsung ataupun tidak langsung. Pencahayaan alami yang baik apabila memenuhi syarat yaitu:
  - a. Pada siang hari antara pukul 08.00 – 16.00 waktu setempat, dikarenakan terdapat cahaya yang masuk ke dalam ruangan tersebut.
  - b. Distribusi cahaya di dalam ruangan cukup merata yang menjadikan tidak menimbulkan kontras yang mengganggu.

Pencahayaan alami diperlukan jendela-jendela yang besar, dinding kaca dan dinding yang banyak dilubangi, pada pencahayaan alami dapat diperkirakan akan membutuhkan biaya yang mahal.

2. Pencahayaan buatan, yang dimana sumbernya berasal dari teknologi penciptaan manusia yang dikenal sebagai lampu. Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami. Dalam perencanaan penggunaan pencahayaan untuk suatu lingkungan kerja perlu diperhatikan hal-hal berikut:

- a. Seberapa jauh pencahayaan buatan yang akan digunakan, baik untuk menunjang dan melengkapi pencahayaan alami.
- b. Tingkat pencahayaan yang diinginkan, baik untuk pencahayaan tempat kerja yang membutuhkan tugas visual atau hanya untuk pencahayaan umum.
- c. Distribusi dan variasi iluminasi yang diperlukan dalam keseluruhan interior, apakah pencahayaan menyebar atau terfokus pada satu arah.
- d. Arah cahaya.
- e. Warna yang akan digunakan dalam ruangan serta efek warna dari cahaya.

Pencahayaan buatan perlu dikelola dengan baik dan dipadukan dengan faktor-faktor penunjang pencahayaan diantaranya yaitu atap, kaca, jendela dan juga dinding agar dapat terciptanya tingkat pencahayaan yang dibutuhkan.

Menurut SNI 03-6575-2001, pengaruh suatu pencahayaan pada warna objek akan berbeda-beda, maka perlu diketahui tampak warna suatu lampu dan dipergunakan suatu indeks yang menyatakan apakah warna objek tampak alami apabila diberi cahaya lampu tersebut.

### 2.5.1. 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:

$$\eta = \frac{\Phi_g}{\Phi_0} \quad (2.5)$$

Di mana:  $\Phi_g$  = Fluks cahaya yang mencapai bidang kerja, langsung atau tidak langsung dipantulkan oleh langit-langit dan dinding.

$\Phi_0$  = Fluks cahaya yang dipancarkan oleh semua sumber cahaya yang ada pada ruangan.

$\eta$  = Efisiensi

Sebagian fluks cahaya akan hilang menerangi ruangan atau diserap oleh dinding dan langit-langit, maka untuk nilai  $\Phi_g$  yaitu:

$$\Phi_g = E \times A \text{ (Lumen)} \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.5 dan 2.6, maka jumlah  $\Phi_0$  untuk keadaan baru diperoleh:

$$\Phi_0 = \frac{E \times A}{\eta} \quad (2.7)$$

Kemudian untuk jumlah  $\Phi_0$  dalam keadaan pakai dapat diperoleh:

$$\Phi_0 = \frac{E \times A}{\eta \times d} \quad (2.8)$$

Mengetahui efisiensi pada sistem pencahayaan, maka harus diperhitungkan:

- a. Faktor refleksi dinding ( $r_w$ )
- b. Faktor refleksi langit-langit ( $r_p$ )
- c. Faktor refleksi bidang pengukuran ( $r_m$ )
- d. Indeks ruangan ( $k$ )

#### 2.5.1.1. Faktor Refleksi ( $r$ )

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

$$r = \frac{\text{fluks cahaya yang dipantulkan}}{\text{flux cahaya yang mengenai permukaan}} \quad (2.9)$$

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.

Faktor refleksi semu bidang pengukuran atau bidang kerja ( $r_m$ ) ditentukan oleh refleksi lantai dan refleksi bagian dinding antara bidang kerja dan lantai. Umumnya untuk nilai ( $r_m$ ) diambil 0,1, langit-langit dan dinding berwarna terang memantulkan 50-70% dan yang berwarna gelap 10-20% (Sumardjati, 2019). 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:

$$\text{Angka Refleksi } (\rho) = \frac{\text{Erata-rata sinar pantul ruangan (lux)}}{\text{Erata-rata sinar langsung ruangan (lux)}} \times 100\% \quad (2.10)$$

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

#### 2.5.1.2. 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:

$$k = \frac{p \times l}{h(p+l)} \quad (2.11)$$

Di mana: p = panjang ruangan (m)

l = lebar ruangan (m)

h = tinggi sumber cahaya dari bidang kerja (m)

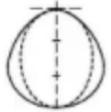
#### 2.5.1.3. Faktor Penyusutan

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 sedang: terjadi di perusahaan lainnya seperti industri, 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.

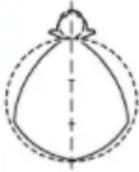
**2.5.1.3. Tabel-Tabel Penerangan**

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 %	k	r <sub>w</sub>	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan		
				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	Pengotoran ringan				
Kisi lamel	1	0,48	0,43	0,40	0,47	0,43	0,39	0,46	0,42	0,39	0,85	0,80	0,70		
	1,2	0,52	0,48	0,44	0,51	0,47	0,44	0,50	0,46	0,43	Pengotoran sedang				
	1,5	0,56	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49	0,54	0,51	0,48	0,80	0,70	0,65		
	0	2	0,61	0,58	0,55	0,60	0,57	0,54	0,59	0,56	Pengotoran berat				
	↑ 2,5	0,64	0,61	0,59	0,63	0,60	0,58	0,62	0,59	0,57	X	X	X		
	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 2.1. Efisiensi Armatur Penerangan Langsung**

(P VAN HARTEN DAN IR E SETIAWAN, 2002)

Armatur penerangan sebagian besar langsung	v	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan				
		k	r <sub>w</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			
%	r <sub>ev</sub>	0,1			0,1			0,1							
GCB	0,5	0,32	0,26	0,22	0,29	0,24	0,21	0,27	0,23	0,20					
2 x TLF 65 W	0,6	0,37	0,31	0,27	0,35	0,30	0,26	0,32	0,28	0,25	Pengotoran ringan				
	0,8	0,46	0,41	0,36	0,43	0,38	0,35	0,40	0,36	0,33	0,90	0,80	0,75		
	1	0,53	0,48	0,44	0,49	0,45	0,42	0,46	0,42	0,39					
	1,2	0,58	0,52	0,48	0,54	0,49	0,46	0,50	0,46	0,43	Pengotoran sedang				
	1,5	0,62	0,58	0,54	0,58	0,54	0,51	0,54	0,51	0,48	0,80	0,75	0,70		
	22	2	0,68	0,64	0,60	0,63	0,59	0,57	0,58	0,55	0,53				
	↑ 2,5	0,71	0,67	0,64	0,66	0,63	0,60	0,61	0,59	0,57	Pengotoran berat				
	87	3	0,73	0,70	0,67	0,68	0,65	0,63	0,63	0,61	0,59	X	X	X	
	↓ 4	0,76	0,74	0,71	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62					
	65	5	0,78	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64				

Gambar 2.2. Efisiensi Armatur Penerangan Sebagian Besar Langsung  
(P VAN HARTEN DAN IR E SETIAWAN, 2002)

Armatur langsung tak langsung	v	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan				
		k	r <sub>w</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			
%	r <sub>ev</sub>	0,1			0,1			0,1							
GCB	0,5	0,26	0,20	0,17	0,22	0,18	0,15	0,19	0,16	0,14					
2 x TLF 65 W	0,6	0,30	0,25	0,21	0,26	0,22	0,19	0,23	0,19	0,17	Pengotoran ringan				
roster sejajar	0,8	0,38	0,32	0,28	0,33	0,29	0,25	0,28	0,25	0,23	0,85	0,80	0,70		
	1	0,43	0,38	0,34	0,38	0,34	0,30	0,32	0,29	0,27					
	1,2	0,47	0,42	0,38	0,41	0,37	0,34	0,35	0,32	0,30	Pengotoran sedang				
	1,5	0,51	0,47	0,43	0,45	0,41	0,38	0,38	0,36	0,33	0,80	0,70	0,65		
	38	2	0,56	0,52	0,49	0,49	0,46	0,43	0,42	0,40	0,38				
	↑ 2,5	0,59	0,56	0,52	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42	0,40	Pengotoran berat				
	81	3	0,61	0,58	0,55	0,54	0,51	0,49	0,46	0,44	0,42	X	X	X	
	↓ 4	0,64	0,62	0,59	0,56	0,54	0,52	0,48	0,47	0,45					
	43	5	0,66	0,64	0,62	0,58	0,56	0,54	0,50	0,48	0,47				

Gambar 2.3. Efisiensi Armatur Penerangan Langsung tak Langsung  
(P VAN HARTEN DAN IR E SETIAWAN, 2002)

armatur	v	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan				
		k	r <sub>w</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			
%	r <sub>ce</sub>	0,1			0,1			0,1							
NB 64	0,5	0,23	0,18	0,14	0,20	0,16	0,12	0,18	0,14	0,11					
dengan lampu pijar 300W	0,6	0,27	0,21	0,17	0,24	0,19	0,15	0,20	0,16	0,13	Pengotoran ringan				
	0,8	0,34	0,28	0,23	0,29	0,24	0,20	0,25	0,21	0,18	0,85	0,80	X		
	1	0,39	0,33	0,28	0,34	0,29	0,25	0,29	0,25	0,21					
	1,2	0,43	0,37	0,32	0,37	0,32	0,28	0,31	0,27	0,24	Pengotoran sedang				
	1,5	0,47	0,41	0,36	0,41	0,36	0,32	0,35	0,31	0,28	0,80	0,70	X		
	38	2	0,52	0,47	0,42	0,45	0,41	0,37	0,39	0,35					
	↑	2,5	0,56	0,51	0,47	0,48	0,44	0,41	0,41	0,38	Pengotoran berat				
	81	3	0,59	0,54	0,50	0,51	0,47	0,44	0,43	0,41	X	X	X		
	↓	4	0,62	0,58	0,55	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44					
	43	5	0,65	0,61	0,58	0,56	0,54	0,51	0,48	0,46					

**Gambar 2.4. Efisiensi Armatur**

(P VAN HARTEN DAN IR E SETIAWAN, 2002)

**2.5.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sistem Pencahayaan**

Ada beberapa faktor berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum (1981), yang dapat mempengaruhi pencahayaan di ruangan dan termasuk di tempat kerja, yaitu:

1. Desain pada sistem pencahayaan, faktor ini berpengaruh terhadap penyebaran cahaya ke setiap ruangan.
2. Distribusi cahaya, pada faktor ini berpengaruh terhadap penyebaran cahaya. Jika sumber cahaya tidak merata, maka dapat menimbulkan sudut dan bagian ruangan yang gelap.
3. Pemantulan cahaya dari langit-langit, tergantung dari warna dan hasil akhir pada ruangan tersebut. Pemantulan cahaya ini tidak berlaku pada sistem pencahayaan langsung, tetapi sangat berpengaruh pada pencahayaan tidak langsung.

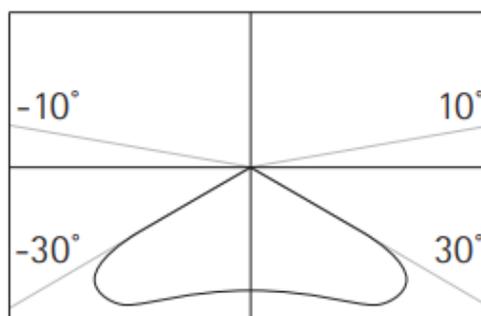
4. Ukuran ruangan, ruangan yang luas dapat lebih efisien dalam pemanfaatan cahaya dibandingkan dengan ruangan yang sempit.
5. Utilisasi cahaya, yaitu persentase cahaya dari sumber cahaya yang secara nyata mencapai dan juga menerangi benda-benda yang ada pada ruangan tersebut.
6. Pemeliharaan desain dan sumber cahaya, apabila pemeliharaan tidak baik atau tidak terawat, maka akan mempengaruhi pada pencahayaan yang dihasilkan.

### 2.5.2. Distribusi Pencahayaan Buatan

Penyebaran cahaya pada suatu ruangan terdiri dari empat macam, distribusi pada cahaya ini ditentukan oleh arah pencahayaan dan efek dari tempat lampu (lumener), secara rinci yaitu:

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

Memanfaatkan pancaran cahaya yang langsung mengenai objek tanpa penghalang. Keunggulannya yaitu efisiensi penerangan yang tinggi, memerlukan sedikit lampu untuk bidang- bidang kerja luas, missal pada lampu *spot light* atau *downlight*. Pada pencahayaan ini 90% - 100% sinar ke bawah 0% - 10% sinar ke atas.

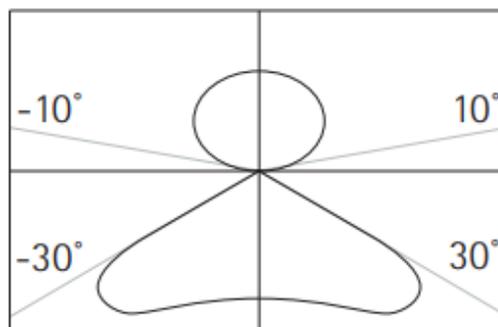


**Gambar 2.5. Direct Lighting**

(Ganslandt & Hofmann, 1992)

## 2. Pencahayaan Semi langsung (*Semi Direct Lighting*)

Pencahayaan diarahkan ke bidang kerja yang diterangi, berkisar 60% - 90% sinar ke bawah dan 10% - 40% sinar ke atas. Penerangan pada jenis ini menghasilkan cahaya yang cukup terang, tidak terlalu silau dan efisien termasuk jika digunakan pada ruangan besar. Kelemahannya hanya pada biaya instalasi dan perawatan yang mahal.

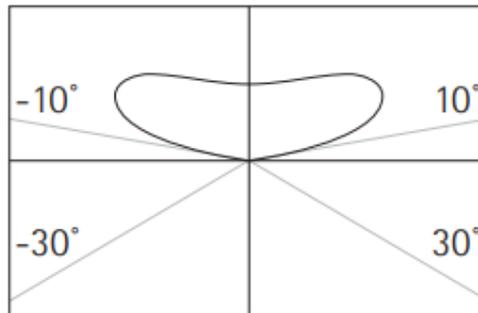


**Gambar 2.6. Semi Direct Lighting**

(Ganslandt & Hofmann, 1992)

## 3. Pencahayaan Tidak langsung (*Indirect Lighting*)

Pencahayaan ini sebesar 90% - 100% sinar ke atas dan 0% - 10% sinar ke bawah, sehingga yang dimanfaatkan pada bidang kerja yaitu cahaya pantulan dari dinding. Kelebihan pada tipe ini yaitu menciptakan cahaya yang halus dan tidak silau. Kelemahannya yaitu pada efisiensi energi, selain itu pada pencahayaan ini menimbulkan sedikit kontras pada ruangan sehingga tidak terlalu baik dalam menunjukkan detail suatu objek.



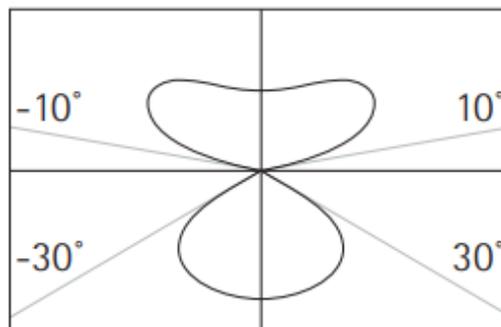
**Gambar 2.7. Indirect Lighting**

(Ganslandt & Hofmann, 1992)

4. Pencahayaan Semi tidak langsung (*Semi Indirect Lighting*)

Pencahayaan sebesar 60% - 90% sinar ke atas dan 10% - 40% sinar ke bawah.

Distribusi pada cahaya ini mirip dengan pencahayaan tak langsung namun lebih efisien dan kuat penerangannya lebih tinggi.

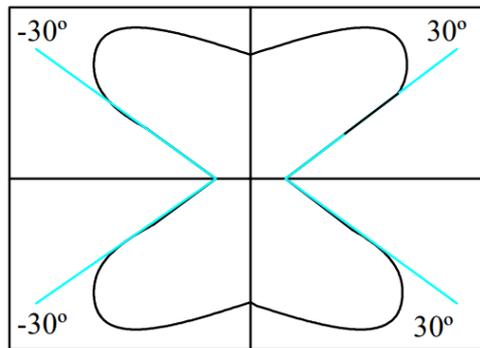


**Gambar 2.8. Semi Indirect Lighting**

(Ganslandt & Hofmann, 1992)

5. Pencahayaan Menyebar (*General Diffused Lighting*)

Pencahayaan ini, distribusi cahaya ke atas dan ke bawah relative merata yaitu 40% - 60%. Pencahayaan ini menghasilkan cahaya yang teduh, dengan bayangan yang lebih jelas daripada pencahayaan tidak langsung dan semi tak langsung.



**Gambar 2.9. General Diffused Lighting**

(Ganslandt & Hofmann, 1992)

### 2.5.3. Definisi dan Istilah pada Sistem Pencahayaan

#### 1. Lumen

Satuan lumen yaitu flux cahaya, flux cahaya dipancarkan dalam satuan unit sudut padatan oleh suatu sumber dengan intensitas cahaya yang seragam satu candela. Satu lux adalah satu lumen per meter persegi. Lumen (lm) yaitu kesetaraan dari watt, 1 watt sama dengan 75 lumen.

#### 2. Luminaire

Luminaire yaitu satuan cahaya yang lengkap, terdiri dari sebuah lampu atau beberapa lampu, termasuk rancangan pendistribusian cahaya, penempatan dan juga perlindungan lampu-lampu dan dihubungkannya lampu ke pasokan daya.

#### 3. *Efficacy* Beban Terpasang

*Efficacy* beban terpasang merupakan iluminasi atau terang pada rata-rata yang dicapai pada suatu bidang kerja yang datar per watt pada pencahayaan umum didalam ruangan yang dinyatakan dalam lux/W/m<sup>2</sup>.

#### 4. *Efficacy* Cahaya Terhitung

*Efficacy* cahaya terhitung merupakan perbandingan keluaran lumen yang terhitung dengan daya terhitung dan dinyatakan dengan lumen per watt.

#### 5. Lux

Lux merupakan satuan ukuran cahaya pada suatu permukaan. Cahaya pada rata-rata yang dicapai adalah rata-rata tingkat lux pada berbagai titik pada area yang sudah ditentukan. Satu lux setara dengan satu lumen per meter persegi.

#### 6. Indeks Ruang

Indeks ruang merupakan perbandingan yang berhubungan dengan ukuran bidang keseluruhan terhadap tingginya, diantaranya yaitu tinggi bidang kerja dengan bidang titik lampu.

#### 7. Intensitas Cahaya dan Flux

Satuan intensitas cahaya yaitu candela (cd), dikenal dengan *International Candle*. Satu lumen setara dengan flux cahaya, yang jatuh pada meter persegi ( $m^2$ ) pada lingkaran dengan radius satu meter. Jika sumber cahayanya isotropik 1 candela (yang bersinar sama keseluruh arah) merupakan isotropik lingkaran. Dikarenakan luas lingkaran dengan jari-jari  $r$  adalah  $4\pi r^2$ , maka lingkaran dengan jari-jari 1 meter memiliki luas  $4\pi 1m$ .

Perbedaan antara lux dan lumen yaitu bahwa lux berkenaan dengan luas area di mana flux menyebar 1000 lumen, terpusat pada satu area dengan luas satu meter persegi dan menerangi satu meter tersebut dengan cahaya 1000 lux. Hal ini sama untuk 1000 lumen, yang menyebar ke sepuluh meter persegi dan hanya menghasilkan cahaya suram 100 lux.

#### 8. Faktor Pemanfaatan

Faktor pemanfaatan merupakan bagian flux cahaya yang dipancarkan oleh lampu-lampu, menjangkau bidang kerja, hal ini merupakan suatu ukuran efektivitas pola pencahayaan.

#### 2.5.4. Jenis Lampu

Berikut ini merupakan jenis-jenis lampu yang biasa digunakan dengan berbagai macam kondisi di Indonesia:

##### 1. Lampu Pijar

Lampu pijar merupakan sumber cahaya yang dibuat melewati penyaluran saluran listrik melewati filamen yang memanans dan kemudian menghasilkan cahaya. Lampu pijar dipasarkan dalam berbagai bentuk dan juga tersedia untuk tegangan yang bervariasi. Lampu pijar ini mempunyai masa pakai yang pendek yaitu ( $\pm 1000$  jam). Lampu pijar sangat tidak efisien apabila digunakan untuk mengenali warna dan dapat mengeluarkan panas hingga  $60^{\circ}\text{C}$ , hal ini akan membuat ketidaknyamanan dalam bekerja.



**Gambar 2.10. Lampu Pijar**

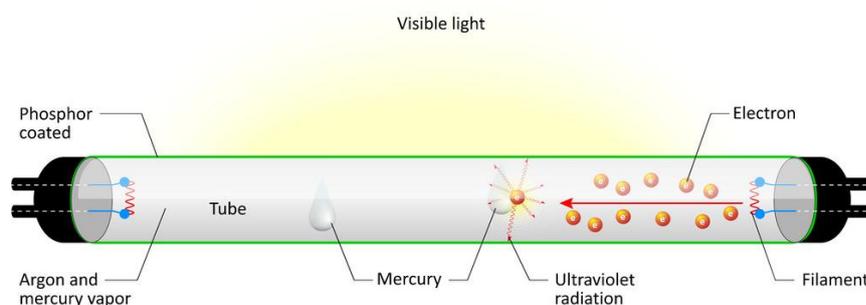
(Rizko Fatra, n.d.)

Prinsip kerja pada lampu pijar yaitu, saat bola lampu dihidupkan arus listrik akan mengalir lalu menuju ke filamen dengan melewati kawat penghubung, filamen akan panas berkisar antara  $2.426 - 3.426\text{ }^{\circ}\text{C}$  ini menyebabkan lampu pijar biasanya berwarna kuning kemerahan, pada temperature yang tinggi saat itulah filamen mulai menghasilkan cahaya.

## 2. Lampu Fluoresen

Lampu fluoresen atau biasa disebut dengan lampu TL (Tube Lamp) yaitu jenis lampu yang didalam tabungnya terdapat sedikit mercury dan gas argon dengan tekanan rendah, serbuk phosphor yang melapisi pada seluruh permukaan bagian dalam kaca tabung pada lampu tersebut.

Lampu fluoresen membutuhkan investasi yang tinggi (sampai 10x), tetapi pada umur pemakaiannya bisa mencapai 10-15 kali lebih lama dari lampu pijar. Lampu ini cocok digunakan pada perkantoran dan area komersial.



**Gambar 2.11. Lampu Fluoresen**

*(Electric Lamp Light Bulb Types, 2016)*

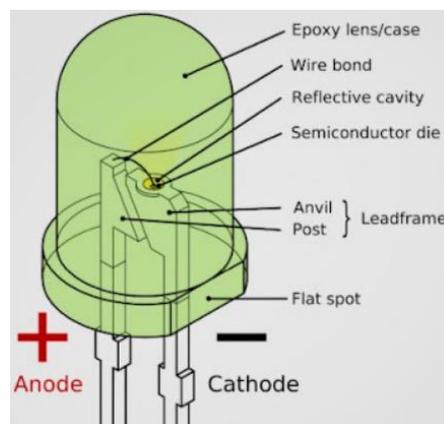
Prinsip kerja pada lampu fluoresen yaitu jika arus listrik mengalir ke elektron satu ke elektron yang lain, maka akan memancarkan cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia, untuk dapat menyala, maka pada lampu fluoresen ini

memerlukan tegangan yang cukup tinggi yaitu sekitar 400 Volt, oleh karena itu pada fungsi starter selain untuk membantu memanaskan elektroda, juga berfungsi sebagai alat untuk menciptakan tegangan penyalan pada lampu.

### 3. Lampu LED

Lampu LED atau *Light Emitting Diode* yaitu komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya untuk warna yang dikehendaki tanpa menggunakan filter warna yang biasa dipakai pada sistem pencahayaan konvensional. Bentuk pada LED mirip dengan sebuah bola lampu yang kecil dan juga dapat dipasangkan dengan mudah ke dalam berbagai perangkat elektronika.

Lampu LED dapat menghasilkan lebih banyak cahaya per watt dibandingkan dengan lampu pijar. Efisiensi tidak dipengaruhi pada bentuk dan ukuran seperti pada lampu fluoresen.



**Gambar 2.12. Lampu LED**

(Rizko Fatra, n.d.)

Dalam cara kerja pada lampu LED hampir sama dengan diode yang memiliki dua kutub yaitu kutub positif (P) dan kutub negative (N). Ketika LED dialiri tegangan maju atau bias *forward* yaitu dari anoda (P) menuju katoda (N),

kelebihan elektron pada tipe N material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *hole* (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (tipe P material). Saat elektron bertemu dengan *hole* maka melepaskan photon dan memancarkan cahaya (satu warna).

### **2.5.5. Pengaruh Warna Dinding pada Sistem Pencahayaan**

Selain sumber pada sistem pencahayaan, warna dari ruangan juga perlu diperhatikan, warna dinding pada ruangan berpengaruh terhadap suhu dan juga energi listrik yang dikonsumsi dari ruangan tersebut. Berikut penjelasan bagaimana tingkat pencahayaan mampu mempengaruhi warna pada dinding yang dipilih:

1. Dampak cahaya matahari, pencahayaan alami harus dipertimbangkan dalam memilih warna cat dinding, selain pengaruh intensitas yang disebabkan oleh perubahan waktu siang dan malam, perubahan pada dinding juga dipengaruhi oleh posisi arah mata angin rumah hunian yang berkaitan dengan posisi datangnya sinar matahari.
2. Ruangan menghadap utara, pencahayaan alami ini cenderung dingin dan bernuansa biru. Warna yang tajam akan tampil lebih baik daripada warna yang lembut.
3. Ruangan menghadap selatan, ruangan ini mendapatkan pencahayaan kuat yang cukup banyak dan sangat cocok untuk dikombinasikan dengan warna yang dingin ataupun hangat. Warna dinding yang gelap akan terlihat lebih terang dan warna yang terang akan terlihat silau dan memantulkan cahaya.

4. Ruang menghadap timur, cahaya matahari yang memancarkan dari arah timur cenderung bersifat hangat dan berwarna kuning ketika pagi hari. Warna yang cocok untuk ruangan ini yaitu merah, oranye dan kuning.
5. Ruang menghadap barat, cahaya pada sore hari yang menimpa ruangan yang menghadap barat terlihat indah dan hangat, tetapi intensitas cahaya yang hanya sedikit pada pagi hari membuat warna dinding berbayang dan tampak pucat.

Dampak sinar cahaya pada jenis lampu dapat mempengaruhi perubahan warna pada dinding, berikut penjelasan:

1. Lampu bohlam, berwarna kuning membuat warna merah, oranye dan kuning pada dinding yang menjadikan semakin tampak jelas, sedangkan yang berwarna biru dan hijau akan semakin tertutup.
2. Lampu fluoresen, lampu yang berwarna putih susu cenderung bersifat dingin dan warna yang dihasilkan oleh lampu jenis ini menguatkan warna biru atau hijau pada dinding ruangan.
3. Lampu LED, pada lampu ini memiliki fitur untuk mengatur jenis warna dan intensitas cahaya, penggunaan pada lampu LED ini sebagai penerang ruangan yang lebih bebas karena mudah untuk disesuaikan dengan warna pada dinding.

## **2.6. Sistem Pendingin**

Sistem pendingin ruangan yaitu rangkaian proses pengondisian suhu ruangan yang bertujuan untuk mendapatkan suhu dan kelembaban yang sesuai dan dibutuhkan untuk kondisi suhu ruangan pada suatu ruangan, di Indonesia sendiri merupakan negara yang beriklim tropis lembab dengan temperatur udara pada umumnya yaitu antara 24-32°C, untuk memperoleh hasil suhu ruangan dengan

kondisi yang diinginkan, maka perangkat yang digunakan dituntut memiliki kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dibutuhkan. AC dibagi menjadi dua bagian, yaitu sisi *outdor* yang terdiri dari pipa kapiler dan kondenser, tangki penampung air, kipas dan filter udara sebagai penyaring kotoran. Lalu sisi *indor* yang terdiri dari blower, pipa penguapan (evaporator), katup ekspansi dan lain sebagainya (A et al., 2021).

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 2.3:

**Tabel 2.3. Ketetapan Kapasitas AC**

Kapasitas AC (PK)	Setara dengan (BTU/Jam)	Untuk Ruangan (m <sup>2</sup> )
1/2	5.000	10
3/4	7.000	12
1	9.000	16
1,5	12.000	24
2	18.000	48

(Fitriana et al., n.d.)

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

### 2.6.1. Efisiensi Air Conditioner (AC)

Menyatakan efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Di mana:  $\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{output}$  = Daya kapasitas (watt)

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

Catatan: 1PK = 746 Watt

Efisiensi yang dinyatakan sebagai perbandingan antara keluaran dan masukan energi pada proses pemanfaatan energi. Efisiensi yang baik minimal berada pada angka 80 – 95% (Bayu Syaputra, 2021).

#### 2.6.1.1. Energi Efficiency Ratio (EER)

EER (tingkat efisiensi penggunaan energi) merupakan rasio efisiensi energi, semakin tinggi nilai dari EER maka semakin efisien pendingin dalam mendinginkan ruangan. EER merupakan indikator untuk efisiensi hasil bagi dari Btu/jam yang dihasilkan dengan konsumsi energi listrik yang diperlukan kompresor dalam satuan watt (Farid et al., n.d.). Standar pada EER terdapat pada peraturan Menteri ESDM No.103 tahun 2021 mengenai Penerapan Standar Kinerja Minimum untuk Pengkondisi Udara, EER dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$EER = \frac{\text{Efek pendinginan } \left(\frac{BTU}{Jam}\right)}{\text{Energi Input (w)}} \quad (2.13)$$

### 2.6.1.2. Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF)

CSPF merupakan suatu pengukuran efisiensi energi pada sistem pendingin yang dihasilkan dari perubahan suhu dan kelembaban pada AC sesuai dengan kondisi iklim, CSPF merupakan penggunaan terbaru untuk mengukur efisiensi dan konsumsi energi (Lee & Tsai, 2020). CSPF dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$CSPF = \frac{\text{Kapasitas pendinginan} \left( \frac{BTU}{Jam} \right)}{\text{Konsumsi daya (w)}} \times 0,293 \quad (2.14)$$

$$CSPF = EER \times 0,293$$

Catatan: 1 BTU/Jam = 0,293 W

**Tabel 2.4. Standar EER dan CSPF Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No.103 Tahun 2021**

No.	EER	CSPF	Keterangan
1.	9	2,0	Sangat Buruk
2.	9,95	2,5 – 3,0	Buruk
3.	10,4	3,0 – 4,0	Baik
4.	>10,41	4,0 – 6,0	Sangat Baik

(Energi et al., 2021)

### 2.6.3. Kenyamanan Termal

Temperatur udara rata-rata di Indonesia yaitu sekitar 26,96°C dengan kelembaban relatif atau *relative humidity* (RH) rata-rata sekitar 80,8%. Dalam sebuah bangunan ventilasi merupakan suatu komponen penting dalam sirkulasi udara yang akan berdampak pada kelembaban suatu ruangan. Terdapat 3 jenis Standar kenyamanan termal di Indonesia menurut SNI T-14-1993-03 yaitu:

**Tabel 2.5. Standar Kenyamanan Termal di Indonesia**

Standar Kenyamanan	Kelembaban Relatif
Sejuk nyaman (20,5°C – 22,8°C)	50% - 80%

Nyaman optimal (22,8°C – 25,8°C)	70% - 80%
Hampir Nyaman (25,8°C – 27,1°C)	60% -70%

(Baharuddin, n.d.)

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan No.1405/Menkes/SK/XI/2002, mengenai Persyaratan dan Tata Cara Penyelenggaraan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri yaitu untuk suhu mencapai 18°C - 30°C dan kelembaban yaitu sekitar 40% - 95%, untuk memenuhi kenyamanan termal penggunaan bangunan, kondisi perencanaan Gedung yang berada di wilayah dataran rendah yaitu dengan suhu udara maksimum rata-rata sekitar 34°C DB dan 28°C WB ditetapkan bahwa:

- a) Ruang Kerja: temperatur bola kering berkisar antara 24°C - 27°C atau 25,5°C, dengan kelembaban relatif 60%.
- b) Ruang transit (lobi, koridor): temperatur bola kering berkisar antara 27°C - 30°C atau 28,5°C, dengan kelembaban relatif 60%.

#### **2.6.4. Air Conditioner Inverter dan Non Inverter**

Walaupun AC banyak mendatangkan manfaat, faktanya bahwa AC merupakan peralatan yang memakai daya listrik terbesar dibandingkan dengan peralatan lainnya, ini merupakan salah satu sebab produsen AC berinovasi yang dapat mengurangi konsumsi energi pada AC. Salah satunya dengan menggunakan inverter, yang bertujuan untuk dapat menghemat energi listrik.

AC pada inverter menggunakan teknologi pada kompresornya yang terus menyala aktif walaupun suhu pada ruangan sudah mencapai yang diinginkan, pada AC jenis inverter semakin tinggi suhu ruangan maka kapasitas pendinginan AC ini semakin tinggi, sebaliknya jika beban kalor kecil maka kapasitas pada beban

pendingin AC ini pun akan menjadi kecil, pada perubahan ini di deteksi oleh sensor suhu dari AC inverter yang memberikan sinyal *module* inverter yang akan memberikan tegangan pada kompresor, pada AC inverter ini mencegah terjadinya *on-off* pada kompresor yang dapat menyebabkan konsumsi daya AC semakin tinggi. Sedangkan AC non inverter atau AC biasa tidak mengatur kecepatan kompresor sehingga pada AC non inverter akan mendinginkan dengan daya penuh, sistem kerja kompresor menyala jika suhu ruangan berubah naik dan kompresor akan berhenti bekerja saat suhu ruangan mencapai suhu yang telah ditentukan (Sugiri et al., n.d.).

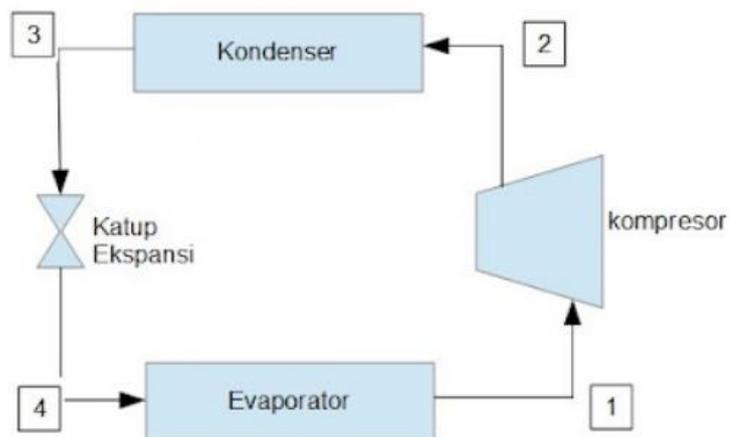
#### **2.6.5. Komponen Mesin Pendingin**

Komponen utama pada mesin pendingin yaitu:

1. Kompresor, yang berfungsi untuk menghisap gas atau cairan dari refrigeran yang akan ditekan dengan tekanan tinggi sehingga temperatur akan naik kemudian dialirkan ke kondesor. Kompresor pada sistem refrigerasi fungsinya dibagi menjadi dua, yaitu:
  - a. Menurunkan tekanan di dalam evaporator, sehingga bahan pada pendingin cair di evaporator dapat mendidih atau dapat menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruang di dekat evaporator.
  - b. Menghisap bahan pendingin gas dari evaporator dengan suhu rendah dan juga tekanan rendah lalu menempatkan gas tersebut sehingga menjadi gas suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kemudian mengalirkan ke kondensor,

sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada zat yang mendinginkan kondensor lalu setelah itu mengembun.

2. Kondensor, yang berfungsi untuk melepaskan panas dari dalam menuju temperatur udara luar yang lebih rendah dan mengubah cairan atau media dari gas menjadi cair. Kondensor dibagi menjadi tiga macam menurut pendinginannya yaitu:
  - a. Kondensor dengan pendinginan udara (*air cooled*).
  - b. Kondensor dengan pendinginan air (*water cooled*).
  - c. Kondensor dengan pendinginan campuran udara dan air (*evaporative*).
3. *Expansive Valve*, yang berfungsi untuk menurunkan tekanan cairan yang menuju tekanan rendah dengan temperatur yang sama.
4. Evaporator, berfungsi untuk menghisap udara panas disekitar yang mengubah cairan menjadi gas dan mengalirkan kembali menuju kompresor. Berikut ditampilkan siklus pada refrigerasi:



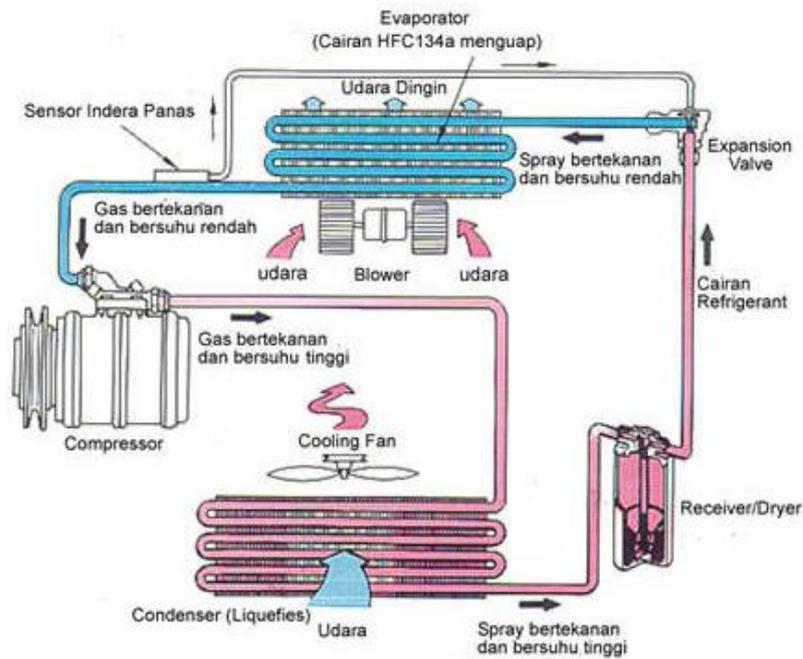
**Gambar 2.13. Siklus Refrigerasi**

(Cappenberg, 2020)

Kompresor dapat diibaratkan sebagai jantung dari siklus refrigerasi karena memiliki tugas menghisap refrigeran dalam fasa gas, langkah ini yaitu proses kompresi (1-2) kemudian mengalirkan ke kondenser, langkah ini yaitu proses pelepasan panas (2-3). Kondensor yang pada dasarnya adalah penukar panas, yang mengubah bentuk refrigeran dari gas menjadi cair (3-4). Setelah keluar dari kondensor, refrigeran mengalir ke katup ekspansi yang merupakan celah agar aliran refrigeran terhambat. Akibat dari dorongan kompresor dan dihambat oleh katup ekspansi maka tekanan di titik 2 – 3 menjadi tinggi dan mengakibatkan temperatur di kondenser juga tinggi, lalu setelah itu terjadi pembuangan panas. Setelah melewati katup ekspansi tekanan refrigeran menjadi turun secara drastis dengan fasa refrigeran kebanyakan cair yang kemudian masuk ke komponen evaporator (4-1) (Cappenberg, 2020).

5. Refrigeran, yaitu merupakan salah satu cairan kerja yang sangat penting dalam siklus refrigerasi yang dapat memindah panas.

Pada dasarnya prinsip kerja dari *Air Conditioner* (AC) sama dengan refrigerasi, namun tidak berfungsi sebagai pendingin saja, tetapi dapat menghasilkan udara nyaman (Poernomo et al., 2015). Siklus refrigerasi yaitu siklus kerja yang mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur yang tinggi dengan menggunakan kerja dari luar system (Faozan, 2017). Ilustrasi tentang siklus pendingin ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.14. Ilustrasi Siklus Pendingin**

( Faozan, 2017)

## 2.7. Konservasi Energi

Kebutuhan konservasi energi sebagai upaya efisiensi pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan. Hal ini terkait dengan ketersediaan sumber energi yang terbatas dan juga peningkatan biaya pada pembelian energi. Konservasi energi juga bermakna sebagai upaya menggunakan energi secara efisien dengan tidak menurunkan fungsi energinya, namun memiliki tingkat ekonomi yang serendah-rendahnya, yang dapat diterima oleh masyarakat dan tidak mengganggu lingkungan, maka dengan adanya konservasi energi dapat semakin efisien melalui langkah-langkah penghematan energi (A et al., 2021).

Konservasi energi dapat dicapai dengan penggunaan energi yang efisien, dimana manfaat yang sama diperoleh dengan menggunakan energi lebih sedikit atau mengurangi konsumsi dan kegiatan yang menggunakan energi listrik.

### 2.7.1. Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan

Konservasi energi pada sistem pencahayaan yaitu bertujuan untuk memperoleh sistem pencahayaan dengan pengoprasian yang optimal. Sistem pencahayaan yang baik diperlukan untuk meningkatkan kualitas kerja. Besarnya pada taraf pencahayaan alami yang dapat dipengaruhi oleh luas lubang cahaya, posisi lubang cahaya, warna permukaan pada ruangan ada atau tidaknya penghalang cahaya masuk pada luar bangunan (seperti peneduh).

Dapat diperhatikan bahwa semakin jauh jarak pada lubang cahaya, maka tingkat terang cahaya akan semakin berkurang, maka diperlukan adanya tambahan penerangan buatan yang penggunaannya seefisien mungkin misalnya dengan mengatur pada penghidupan lampu. Semakin cerah atau muda warna permukaan dalam ruangan dan semakin tinggi posisi lubang cahaya serta tidak terhalang oleh alat peneduh, maka faktor penerangan pada siang hari yang diperoleh makin besar. Perhitungan untuk mengetahui kebutuhan titik lampu setiap ruangan dapat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N = \frac{E \times L \times W}{Kp \times Kd \times F} \quad (2.15)$$

Di mana: N = Jumlah pada titik lampu

E = Kuat pada penerangan

L = Panjang ruangan dalam satuan meter

W = Lebar ruangan dalam satuan meter

$K_p$  = Koefisien penggunaan (0.8)

$K_d$  = Koefisien penyusutan (0.7 – 0.8)

F = Fluks luminous total (lm/lumen)

Berikut ini merupakan tabel tingkat pencahayaan rata-rata, rederansi dan juga temperatur warna yang direkomendasikan berdasarkan SNI 03-6197-2011:

**Tabel 2.6. Tingkat pencahayaan rata-rata dan temperatur pada warna**

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok rederansi warna	Temperatur warna		
			Warm white <3300 K	Coolwhite 3300 K- 5300 K	Daylight >5300 K
<b>Rumah Tinggal:</b>					
Teras	60	1 atau 2	•	•	
R. Tamu	150	1 atau 2		•	
R. Makan	250	1 atau 2	•		
R. Kerja	300	1		•	•
Kamar Tidur	250	1 atau 2	•	•	
Kamar Mandi	250	1 atau 2		•	
Dapur	250	1 atau 2	•	•	
Garasi	60	3 atau 4		•	•
<b>Perkantoran:</b>					
R. Resepsionis	300	1 atau 2	•	•	
R. Direktur	350	1 atau 2		•	•
R. Kerja	350	1 atau 2		•	•
R. Komputer	350	1 atau 2		•	•
R. Rapat	300	1	•	•	
R. Gambar	750	1 atau 2		•	•
Gudang arsip	150	1 atau 2		•	•
R. Arsip aktif	300	1 atau 2		•	•
Tangga darurat	150	1 atau 2			•
Parkir	100	3 atau 4			•
<b>Lembaga Pendidikan:</b>					
R. Kelas	350	1 atau 2		•	•
Perpustakaan	300	1 atau 2		•	•
Laboratorium	500	1		•	•
R. Komputer	500	1 atau 2		•	•
R. Lab Bahasa	300	1 atau 2		•	•
R. Guru	300	1 atau 2		•	•
R. Olahraga	300	2 atau 3		•	•

R. Gambar	750	1		•	•
Kantin	200	1	•	•	
<b>Hotel dan Restoran:</b>					
R. Resepsionis dan Kasir	300	1 atau 2	•	•	
Lobi	350	1	•	•	
R. Serba Guna	200	1	•	•	
R. Rapat	300	1	•	•	
R. Makan	250	1	•	•	
Kafetaria	200	1	•	•	
Kamar Tidur	150	1 atau 2	•		
Koridor	100	1	•	•	
Dapur	300	1	•	•	
<b>Rumah Ibadah:</b>					
Mesjid	200	1 atau 2		•	
Gereja	200	1 atau 2		•	
Vihara	200	1 atau 2		•	

(SNI 6197, 2011)

Lampu diklarifikasikan dalam kelompok rederasi warna yang dinyatakan dengan Ra indeks yaitu sebagai berikut:

- a. Efek kelompok rederasi warna 1: Ra indeks 81% ~ 100%
- b. Efek kelompok rederasi warna 2: Ra indeks 60% ~ 80%
- c. Efek kelompok rederasi warna 3: Ra indeks 40% ~ 60%
- d. Efek kelompok rederasi warna 4: Ra indeks < 40%

Pemilihan temperatur pada warna lampu bergantung pada tingkat iluminasi yang akan diperlukan, agar diperoleh pencahayaan yang nyaman. Semakin tinggi tingkat iluminasi yang diperlukan, maka temperatur warna lampu yang disarankan akan berkisar di angka 4000 – 6500 K sehingga pencahayaan akan nyaman bagi pengguna didalamnya. Sedangkan kebutuhan untuk tingkat iluminasi yang tidak terlalu tinggi, maka temperatur warna lampu yang digunakan disarankan berkisar di angka 2300 – 3500 Kelvin. Temperatur pada warna cahaya lampu dikelompokkan menjadi:

- a. Kelompok 1: warna putih kekuningan (*warm*) <3300 K
- b. Kelompok 2: warna putih netral (*warm – white*) 3300 K – 5300 K
- c. Kelompok 3: warna putih (*coolday – daylight*) >5300 K

Mencari besarnya tingkat pencahayaan dalam suatu ruangan, harus melalui suatu pengukuran dengan menggunakan alat luxmeter, pengukuran dilakukan dengan cara meletakkan luxmeter diatas meja kerja yang ada pada ruangan tersebut. Saat pengukuran dilakukan, pintu ruangan dalam keadaan sesuai dengan kondisi tempat kerja dilakukan. Lampu pada ruangan dalam keadaan dinyalakan sesuai dengan kondisi pada ruangan tersebut.

### 2.7.2. 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.

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

$$\text{Okupansi} = \frac{L_{bruto}}{L_{per-orang}} \quad (2.16)$$

Di mana pada  $L_{per-orang}$  = luas per-orang diambil antara 15 – 20m<sup>2</sup>

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 2.7. 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	1.000
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	2,16 (t <sub>0</sub> - t <sub>1</sub> )

Catatan: untuk Indonesia (t<sub>0</sub> - t<sub>1</sub>) = 5°C

Maka Beban Sensibel Bangunan (BSB):

$$BSB = L_{bidang} \cdot Beban_{kalor} \quad (2.17)$$

## 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):

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

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

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

3. Beban Ventilasi atau Infiltrasi:

a. CFM Infiltrasi ( $CFM_1$ )

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

Di mana: P = Panjang ruangan (m)

L = Lebar ruangan (m)

T = Tinggi ruangan (m)

AC = Jumlah pada pertukaran udara per-jam (umumnya 2)

b. CFM Ventilasi ( $CFM_2$ ):

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

Jadi pada Beban Pendingin (BP):

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

Di mana: BSB = Beban Sensibel Bangunan (Persamaan 2.17)

BSO = Beban Sensibel Orang (Persamaan 2.18)

BLO = Beban Laten Orang (Persamaan 2.19)

$CFM_1$  = Beban Infiltrasi (Persamaan 2.20)

$CFM_2$  = Beban Ventilasi (Persamaan 2.21)

Kapasitas tata udara:

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

Kompensor:

1 PK = 9000 BTU/jam

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