

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pencahayaan

Pencahayaan dapat didefinisikan sebagai jumlah cahaya yang jatuh ke sebuah bidang permukaan. Pengertian pencahayaan adalah sebagai penerangan bangunan agar kita dapat merasakan kenyamanan untuk beraktivitas baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja, dengan bidang kerja yang dimaksud adalah sebuah bidang horizontal imajiner yang terletak setinggi 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan (Standar Nasional Indonesia, 2001). Satuan pencahayaan adalah lux (lm/m^2), di mana lm adalah lumens dan m^2 adalah satuan dari luas. Pencahayaan dapat memengaruhi kondisi lingkungan. Pencahayaan yang tepat memungkinkan orang untuk melihat dengan jelas objek yang sedang mereka kerjakan. Secara umum dalam hal pencahayaan yang berlebihan tidak akan menjadi lebih baik.

Penerangan yang baik merupakan penerangan yang memungkinkan orang dapat melihat objek yang lebih jelas. Pencahayaan merupakan jumlah penyinaran pada suatu bidang kerja untuk melaksanakan kegiatan yang efektif. Kualitas pencahayaan yang buruk memungkinkan berefek buruk bagi penglihatan, untuk lingkungan sekeliling tempat kerja, aspek psikologis, membuat kelelahan, rasa kurang nyaman, dan kurangnya konsentrasi sampai menimbulkan seberat-beratnya kecelakaan kerja (Rohadi et al., 2017).

2.1.1 Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami adalah pencahayaan yang bersumber dari sinar matahari. Sinar matahari dapat ditemui pada siang hari. Cahaya siang hari yang dipantulkan dari langit biru yang jernih dianggap putih dingin dalam penampilan, sedangkan cahaya siang hari yang dipantulkan dari langit mendung memantulkan siang hari putih yang lebih netral (Hansen et al., 2022). Pencahayaan alami yang dihasilkan oleh sinar matahari dapat mengurangi penggunaan energi listrik dan pengurangan emisi gas rumah kaca (Vidiyanti, 2016).

Pencahayaan alami memiliki banyak keuntungan yaitu mengurangi penggunaan energi listrik, sehat bagi pengunjung bangunan, dan dapat membunuh kuman. Pencahayaan alami membutuhkan jendela-jendela yang besar ataupun dinding kaca sekurang-kurangnya $\frac{1}{6}$ dari pada luas lantai. Sumber pencahayaan alami terkadang dirasa kurang efektif dibandingkan dengan menggunakan pencahayaan buatan, selain karena intensitas cahaya yang berubah-ubah dan pencahayaan alami menghasilkan panas terutama saat siang hari.

2.1.2 Pencahayaan Buatan

Pencahayaan buatan pada umumnya mengacu pada cahaya yang berasal dari sumber tenaga listrik, seperti lampu, bohlam, atau tabung yang dapat dimanipulasi untuk mencapai efek yang diinginkan. Bergantung pada kebutuhan, cahaya dapat dikurangi, ditingkatkan, diarahkan, atau diwarnai, tergantung apa yang dibutuhkan (Sholanke et al., 2021). Luminer juga merupakan sumber cahaya buatan. Mereka adalah unit pencahayaan lengkap yang terdiri dari satu atau lebih sumber cahaya dan komponen mekanik dan *optic*. Mereka berfungsi untuk melindungi dan

menahan lampu dan menghubungkan ke sumber listrik. Lumener bekerja sama dengan bahan *finishing* ruangan (Pohl & Zimmermann, 2003).

Cahaya buatan dengan intensitas cahaya dan warna cahaya harus diperhitungkan. Misalnya, warna putih memberikan kesan bersih pada sebuah ruangan, sedangkan warna kuning memberikan kesan hangat. Menggunakan warna yang tepat dalam situasi yang tepat pasti akan membuat pasien merasa nyaman. Sebaliknya, intensitas cahaya yang terlalu tinggi dan warna cahaya yang tidak tepat dapat menimbulkan masalah psikologis pada pasien (Yetti, 2017).

2.2 Sistem Pencahayaan

Menurut SNI 03-6575-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung, sistem pencahayaan dapat dikelompokkan menjadi :

2.2.1 Sistem Pencahayaan Merata

Pada sistem pencahayaan merata memberikan tingkat pencahayaan yang merata di seluruh ruangan, digunakan apabila tugas visual yang dilakukan pada semua lokasi pada ruangan. Memerlukan tingkat pencahayaan yang sama rata. Tingkat pencahayaan yang sama atau merata didapatkan dengan memasang armatur secara merata langsung ataupun secara tidak langsung di seluruh langit-langit.

2.2.2 Sistem Pencahayaan Setempat

Sistem pencahayaan setempat memberikan tingkat pencahayaan pada bidang kerja yang tidak merata. Pada tempat yang dibutuhkan untuk melakukan tugas visual yang memerlukan tingkat pencahayaan yang tinggi dengan menggunakan pencahayaan yang lebih banyak dibandingkan dengan sekelilingnya. Hal ini untuk mengonsentrasikan penempatan armatur pada langit-langit di atas ruangan tersebut.

2.2.3 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. Pada sistem pencahayaan gabungan dianjurkan digunakan untuk:

1. Tugas visual yang memerlukan tingkat pencahayaan yang tinggi.
2. Memperlihatkan bentuk dan tekstur yang memerlukan cahaya datang dari arah tertentu.
3. Pencahayaan merata terhalang, sehingga tidak dapat sampai pada tempat yang terhalang tersebut.
4. Tingkat pencahayaan yang lebih tinggi diperlukan untuk orang tua atau yang kemampuan penglihatannya sudah berkurang.

2.3 Perhitungan Pencahayaan

Pencahayaan adalah jumlah cahaya yang jatuh pada suatu permukaan. Satuan pencahayaan adalah Lux (lumen/m²). Menurut sumber cahaya, pencahayaan dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu pencahayaan alami dari sinar matahari, pencahayaan buatan yang berasal dari lampu, dan pencahayaan buatan. Secara ergonomis, pencahayaan yang baik membuat pekerja nyaman dan produktif penambah (Yusvita, 2021). Persamaan (2. 1) merupakan perhitungan jumlah titik lampu pada ruangan:

$$N = \frac{E \times A}{i \times CU \times LLF} \quad (2. 1)$$

Keterangan:

N = Jumlah armatur (titik lampu)

E = Intensitas penerangan (Lux)

A = Luas ruangan (meter)

i = Tingkat pencahayaan (lumen)

CU = Faktor Utilitas (%)

LLF = Faktor rugi cahaya (%)

2.3.1 Iluminasi

Iluminasi adalah kepadatan cahaya dari suatu sumber cahaya. Intensitas pencahayaan adalah flux cahaya yang jatuh pada 1 m² dari bidang tersebut, yang memiliki satuan lux dan dilambangkan dengan huruf E (Iksan et al., 2018). Maka:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen per m}^2 \quad (2.2)$$

Sehingga nilai E dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.3)$$

Di mana:

E = Kuat penerangan / intensitas pencahayaan (lux)

Φ = Fluks cahaya (lumen)

A = Luas bidang permukaan (m²)

Tingkat pencahayaan pada suatu ruangan didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja, dengan bidang kerja yang dimaksud adalah sebuah bidang horizontal imajiner yang terletak setinggi 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan (Standar Nasional Indonesia, 2001).

2.3.2 Fluks Cahaya

Fluks cahaya adalah jumlah cahaya yang jatuh pada setiap sudut ruangan (Parera et al., 2018). Satu watt cahaya kira-kira sama dengan 68 lumen. Angka perbandingan 68 ini dinamakan ekivalen pancaran foto metris. Persamaan fluks cahaya dilambangkan Φ dengan satuan lumen (lm).

$$\Phi = F_{total} \times k_p \times k_d \quad (2.4)$$

Di mana:

F_{total} = Fluks luminus total dari semua lampu yang menerangi bidang (lm)

k_p = Koefisien penggunaan

k_d = Koefisien depresiasi (penyusutan)

Selain itu, nilai dari fluks pada suatu ruangan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\Phi = E_{standar} \times A \quad (2.5)$$

$E_{standar}$ merupakan kuat penerangan standar untuk sebuah ruang yang telah disesuaikan dengan fungsi ruang tersebut atau ruang kerja di mana $E_{standar}$ merupakan acuan yang harus dipenuhi dalam penggunaannya.

2.3.3 Kuat Pencahayaan

Kuat pencahayaan di suatu ruangan pada umumnya didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan pada bidang kerja. Di mana dengan bidang kerja adalah horizontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai di setiap ruangan. Merujuk rumus yang dikemukakan Schiller (1992) (Guntur & Putro, 2017). Kuat pencahayaan dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{I \times CU \times LLF}{A} \quad (2.6)$$

Keterangan:

E = Kuat pencahayaan (lux)

I = Intensitas sumber cahaya (lm)

CU = Faktor utilitas

LLF = Faktor rugi cahaya

A = Luas ruangan

Perhitungan kuat rata-rata diperoleh dari hasil pengukuran kuat pencahayaan yang diambil alih oleh beberapa titik di dalam ruangan dengan menggunakan luxmeter, menggunakan rumus:

$$E_{rata-rata} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \dots + E_n}{n_{lux}} \quad (2.7)$$

Di mana:

$E_{rata-rata}$ = Kuat pencahayaan rata-rata

$E_1 \dots n$ = Hasil pengukuran kuat pencahayaan di beberapa titik

Sedangkan untuk perhitungan intensitas cahaya, menggunakan rumus:

$$I = i \times n \quad (2.8)$$

Di mana:

I = Intensitas sumber cahaya (lm)

i = Tingkat pencahayaan pada lampu yang dipakai (lm)

n = Jumlah sumber cahaya

2.4 Distribusi Pencahayaan

Distribusi cahaya atau penyebaran cahaya pada suatu ruangan terdiri dari lima macam yaitu distribusi pencahayaan langsung, pencahayaan tidak langsung, pencahayaan semi langsung, pencahayaan semi tak langsung, serta pencahayaan baur. Distribusi cahaya ini ditentukan oleh arah pencahayaan dan efek dari tempat lampu (armatur/luminer). Secara rinci distribusi cahaya yaitu:

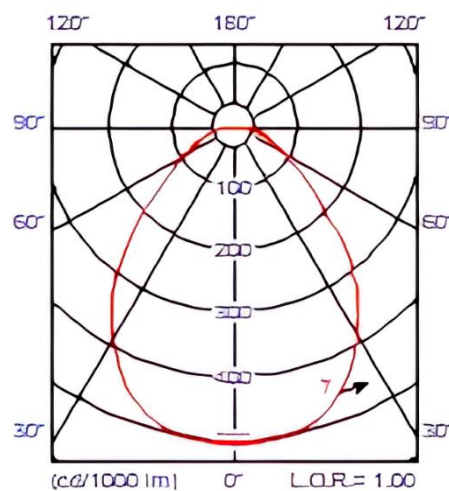
1. Langsung 90%-100% sinar ke bawah 0%-10% sinar ke atas
2. Semi langsung 60%-90% sinar ke bawah 10%-40% sinar ke atas
3. Tidak langsung yaitu 0%-10% sinar ke bawah 90%-100% sinar ke atas
4. Semi tidak langsung yaitu 10%-40% sinar ke bawah 60%-90% sinar ke atas

5. Baur yaitu pencahayaan tak langsung dengan armatur/luminer bahan tembus pandang tersebar secara merata.

Di bawah ini terdapat contoh kurva distribusi intensitas cahaya dengan berbagai model lampu DN145B PSU D166 1 xLED10S/830 menggambarkan sinar lampu yang menyorot langsung ke bawah sebanyak 90-100%.



Gambar 2. 1 Model Lampu *Downlight*



Gambar 2. 2 Kurva Distribusi Cahaya Lampu *Downlight*

2.5 Lampu

Awalnya dibuat oleh Thomas Alpha Edison berupa lampu pijar, bentuknya masih sangat sederhana. Namun seiring dengan kemajuan teknologi, jenis dan bentuk lampu dan lampion yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari semakin beragam. Philips salah satu *brand* lampu telah meluncurkan produk mulai dari tipe lampu pijar, tipe lampu TL hingga tipe LED terbaru (Agam et al., 2015).

2.5.1 Lampu Pijar (Filamen)

Lampu pijar yang memancarkan cahaya dengan memanaskan serat atau filamen sehingga lampu memancarkan suhu yang lebih tinggi. Serat bercahaya adalah filamen logam tipis yang tahan terhadap arus listrik yang lewat. Di dalam filamen, energi listrik diubah menjadi panas dan cahaya. Lampu pijar berisi gas dengan serat kumparan luka, biasanya argon.



Gambar 2. 3 Lampu Pijar

2.5.2 Lampu Fluoresen (TL = *Tube Lamp*)

Lampu TL termasuk lampu merkuri tekanan rendah (0,4 Pa) yang menggunakan prinsip proses fluoresensi dari mineral fluoresen. Di bawah radiasi sinar ultraviolet, bahan mineral bereaksi dengan gas di dalam tabung lampu untuk menghasilkan sinar ultraviolet. Sinar UV kemudian bereaksi dengan fosfor, yaitu campuran mineral yang melapisi bagian dalam bola lampu. (Rsg-gas et al., n.d.).



Gambar 2. 4 Lampu TL

Sumber: Philpis Lighting

2.5.3 Lampu LED (*Light Emitting Diode*)

Lampu LED (*Light Emitting Diode*) adalah semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberi tegangan, *Light Emitting Diode* dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata dan merupakan produk LED yang disusun menjadi sebuah lampu yang memiliki usia pakai dan efisiensi listrik beberapa kali lipat lebih baik dari pada lampu pijar dan lampu neon.



Gambar 2. 5 Lampu LED Downlight

Sumber: Philips Lighting

2.6 Armatur

Armatur adalah rumah lampu digunakan untuk mengontrol dan mendistribusikan cahaya yang dipancarkan oleh lampu yang dipasang di dalamnya, dilengkapi dengan perangkat pelindung lampu dan unit kontrol listrik (Standar Nasional Indonesia, 2001).

Armatur-armatur lampu dapat dibagi menurut kebutuhan, yaitu:

1. Berdasarkan konstruksinya, dengan jenis armatur biasa, kedap tetesan air, kedap air, kedap letupan debu dan kedap letupan gas.
2. Berdasarkan penggunaannya, terdapat armatur untuk penerangan dalam, penerangan luar, penerangan industri, penerangan dekorasi, dan armatur yang ditanam di dinding atau langit-langit dan yang tidak ditanam.

3. Berdasarkan bentuknya, atas armatur balon, pinggan, armatur pancaran lebar dan pancaran terbatas, kemudian armatur kandil, palung dan armatur-armatur jenis lain untuk lampu.
4. Berdasarkan cara pemasangannya, terdiri dari armatur langit-langit dinding, gantung, berdiri, armatur berdiri memakai pipa dan armatur gantung memakai kabel.

Pada LEDTubes atau lampu *Tube Lamp* memiliki beberapa jenis armature yang bisa digunakan yaitu:

3.4.1 *Tube Covered Waterproof (TCW)*

Armatur tipe ini juga digunakan untuk penerangan dalam di industry. Lampu yang digunakan pada armatur adalah *Tube Lamp Diameter (TLD)*. Rumah armatur terbuat dari *glass fibers reinforced pressed polyester*. Armatur jenis ini tergolong armatur kedap air dan debu (*Waterproof*).



Gambar 2. 6 Armatur Jenis TCW

Sumber : Philips

3.4.2 *Tube Surface Compact (TCS)*

Armatur jenis TCS dapat digunakan untuk kantor dengan lampu TLD, TLDHF (lampu TL hemat energi dengan ballast elektronik) dengan bermacam-macam daya.



Gambar 2. 7 Armatur Jenis TCS
Sumber : Philips

3.4.1 *Tube Mounting Surface (TMS)*

Armatur jenis TMS dapat digunakan untuk sebuah ruangan kantor dengan lampu yang biasa digunakan untuk armatur ini yaitu Lampu TL atau LED Tube. Armatur ini termasuk golongan armatur TKO (*Outbow*) di mana pemasangan armatur ini tidak ditanam pada sebuah plafon.



Gambar 2. 8 Armatur Jenis TMS
Sumber : Philips

3.4.2 *Tube Built-in Square (TBS)*

Armatur TBS digunakan untuk penerangan dalam di kantor-kantor dan gedung-gedung pertemuan, bentuknya sangat dekoratif dan terdiri dari berbagai model. Rumah lampu ini terbuat dari *galvanises sheet steel*, reflektor terbuat dari *glass-fibre reinforced polyester*, dan di samping itu armatur ini dilengkapi cermin.

Armatur ini termasuk golongan armatur TKI (*Inbow*) di mana pemasangan armatur ini ditanam pada sebuah plafon.



Gambar 2. 9 Armatur Jenis TBS
Sumber : Philips

Bentuk sumber cahaya dan armatur harus demikian rupa sehingga tidak menyilaukan mata. Bayang-bayang harus ada, sebab bayang-bayang ini diperlukan untuk dapat melihat benda-benda sewajarnya. Akan tetapi bayang-bayang itu tidak boleh terlalu tajam. Dari berbagai jenis armatur yang ada, peneliti menggunakan jenis armatur yang ditanam di langit-langit. Karena memang konstruksi ruangan kamar rumah sakit didesain untuk menggunakan armatur tanam.

2.7 Standar Dalam Pencahayaan SNI-6197-2011

Standar ini memuat ketentuan tentang pedoman penerangan bagi bangunan gedung untuk mencapai sistem penerangan yang berfungsi optimal sehingga penggunaan energi lebih efisien tanpa melemahkan dan/atau mengubah fungsi bangunan, kenyamanan dan produktivitas penghuni, seperti aspek lingkungan dan biaya. Standar ini ditujukan untuk semua orang yang terlibat dalam desain, konstruksi, operasi dan pemeliharaan bangunan untuk mencapai penggunaan energi yang efisien (Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan Badan Standarisasi Nasional, 2011).

Fungsi dari standar ini untuk penghematan penggunaan energi listrik yang dapat dilakukan dengan mengurangi daya terpasang yang melalui pemilihan lampu

yang mempunyai efikasi (efisiensi perubahan dari energi listrik menjadi cahaya) lebih tinggi dan menghindarkan pemakaian lampu dengan efikasi rendah.

Menurut SNI-6197-2011 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan, tingkat pencahayaan minimal yang direkomendasikan tidak boleh kurang dari tingkat pencahayaan pada tabel 2. 1 berikut:

Tabel 2. 1 Tingkat Pencahayaan Rata-rata dan Temperatur Warna yang Direkomendasikan Menurut SNI 6197-2011

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Temperature warna		
		Warm < 3300 Kelvin	Warm white 3300 Kelvin - 5300 Kelvin	Cool Daylight >53000 Kelvin
Rumah Tinggal				
Teras	60	■	■	
Ruang tamu	150		■	
Ruang makan	250	■		
Ruang kerja	300		■	■
Kamar tidur	250	■	■	
Kamar mandi	250		■	■
Dapur	250	■	■	
Garasi	60		■	■
Perkantoran				
Ruang resepsionis	300	■	■	
Ruang direktur	350		■	■
Ruang kerja	350		■	■
Ruang komputer	350		■	■
Ruang rapat	300	■	■	
Ruang gambar	750		■	■
Gudang arsip	150		■	■
Ruang arsip aktif	300		■	■
Ruang tangga darurat	150		■	■
Ruang paker	100			■
Lembaga Pendidikan				
Ruang kelas	350		■	■
Perpustakaan	300		■	■
Laboratorium	500		■	■
Ruang praktik komputer	500		■	■

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahaya-an (lux)	Temperature warna		
		Warm < 3300 Kelvin	Warm white 3300 Kelvin - 5300 Kelvin	Cool Daylight >53000 Kelvin
Ruang laboratorium bahasa	300		■	■
Ruang guru	300		■	■
Ruang olahraga	300		■	■
Ruang gambar	750		■	■
Kantin	200	■	■	
Hotel dan Restoran				
Ruang resepsionis dan kasir	300	■	■	
Lobi	350	■	■	
Ruang serba guna	200	■	■	
Ruang rapat	300	■	■	
Ruang makan	250	■	■	
Kafetaria	200	■	■	
Kamar tidur	150	■		
Koridor	100	■	■	
Dapur	300	■	■	
Rumah Sakit/balai pengobatan				
Ruang tunggu	200	■	■	
Ruang rawat inap	250		■	■
Ruang operasi, Ruang bersalin	300		■	■
Laboratorium	500		■	■
Ruang rekreasi dan rehabilitasi	250	■	■	
Ruang koridor siang hari	200		■	■
Ruang koridor malam hari	59		■	■
Ruang kantor staf	350		■	■
Kamar mandi & toilet pasien	200			■
Pertokoan/ruang pameran				
Ruang pameran dengan objek berukuran besar (misalnya mobil)	500	■	■	■
Area penjualan kecil	300		■	■
Area penjualan besar	500		■	■
Area kasir	500		■	■
Toko kue dan makanan	250	■	■	
Toko bunga	250		■	
Toko buku dan alat tulis/gambar	300	■	■	■

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Temperature warna		
		Warm < 3300 Kelvin	Warm white 3300 Kelvin - 5300 Kelvin	Cool Daylight >53000 Kelvin
Toko perhiasan, arloji	500	■	■	
Toko barang kulit dan sepatu	500	■	■	
Toko pakaian	500	■	■	
Pasar swalayan	500	■	■	
Toko mainan	500	■	■	
Toko alat listrik (TV , radio / tape, mesin cuci dan lain-lain)	250	■	■	■
Toko alat music dan olahraga	250	■	■	■
Industri (umum)				
Gudang	100		■	■
Pekerjaan kasar	200		■	■
Pekerjaan menengah	500		■	■
Pekerjaan halus	1.000		■	■
Pekerjaan amat halus	2.000		■	■
Pemeriksaan warna	750		■	■

Catatan: Tanda ■ artinya dapat digunakan

Sumber: SNI-6197-2011

Temperatur warna digunakan untuk menciptakan suasana di dalam ruangan serta menyampaikan kesan tertentu seperti formal, sejuk, hangat dan mewah. Temperatur warna cahaya bukanlah indikasi pengaruhnya terhadap warna objek, tetapi memberi kesan ruang. Temperatur warna cahaya lampu putih dapat dilihat pada tabel 2. 2 berikut:

Tabel 2. 2 Tampak Warna Terhadap Temperatur Warna.

Temperatur warna K (Kelvin)	Tampak warna
>5.300	Dingin
3.300 - 5.300	Sedang
<3.300	Hangat

Sumber: SNI-6575-2011

Pilihan warna cahaya tergantung pada tingkat pencahayaan yang dibutuhkan untuk pencahayaan yang nyaman. Sebagai pedoman umum, semakin tinggi tingkat

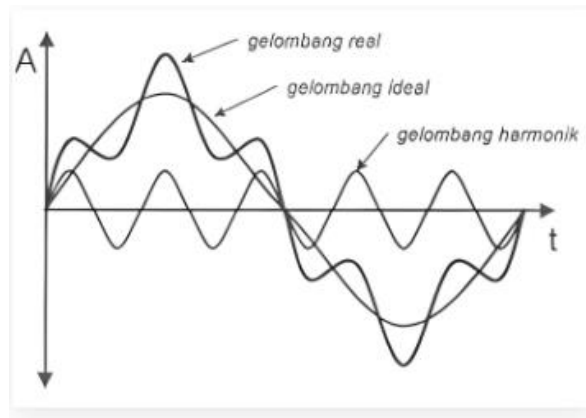
pencahayaan yang diperlukan, warna yang dipilih akan semakin sejuk untuk menciptakan pencahayaan yang nyaman.

2.8 Harmonisa

Harmonisa merupakan fenomena yang disebabkan oleh penggunaan beban non-linear pada sistem tenaga listrik. Permasalahan harmonik dalam sistem tenaga listrik menjadi semakin kompleks dengan meningkatnya penggunaan perangkat non-linear (misalnya LED), yang menghasilkan harmonik pada gelombang tegangan dan arus (Samanhudi, 2021). Harmonisa disebabkan oleh beban yang tidak seimbang pada peralatan elektronik yang di dalamnya terdapat komponen semikonduktor. Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linear dan beban non-linear. Beban linear merupakan beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran linear di mana arus yang mengalir akan sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan, beban linear ini bersifat pasif, di mana tidak mampu memproduksi energi listrik, dan justru menjadi konsumen energi listrik dalam kehidupan sehari-hari contohnya elemen pemanas dan lampu pijar (Koerniawan & Hasanah, 2019).

Menurut Standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 1000.4-11 gangguan harmonisa tergolong ke dalam distorsi bentuk gelombang. Harmonisa adalah gelombang tegangan atau arus sinusoidal yang frekuensinya merupakan hasil kali integer dari frekuensi dasar di mana catu daya sistem dimaksudkan untuk beroperasi (biasanya 50 atau 60 Hz). Harmonisa pada dasarnya adalah fenomena terbentuknya gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Maka dari itu disebut frekuensi harmonik yang terjadi pada bentuk gelombang asli, dan pengali bilangan bulat dari frekuensi dasar

disebut nomor urut harmonik. Perubahan bentuk gelombang disebabkan oleh harmonik yang dihasilkan oleh peralatan yang digunakan.



Gambar 2. 10 Gelombang Harmonisa

Harmonisa dihasilkan oleh beban non-linear pada jaringan listrik. Perangkat seperti *konverter*, penyearah, penggerak kecepatan variabel yang mengontrol motor industri, *thyristor-controlled reactor*, dan berbagai perangkat berdasarkan proses *switching* dapat menghasilkan harmonik. Beban yang dapat menimbulkan harmonisa antara lain, *electric arc furnace*, *induction furnace*, serta mesin las, di mana beban tersebut berubah-ubah dari waktu ke waktu dengan cepat secara non-linear.

2.9 Sumber Harmonik

Sumber harmonik pada sistem kelistrikan dapat timbul dari berbagai jenis beban non-linear yang terpasang, seperti Lampu Hemat Energi (LHE), lampu neon, lampu LED, komputer, televisi, motor pompa, dan peralatan elektronika lainnya. Beban non-linear ini dapat menyebabkan distorsi harmonik pada sinyal listrik dan memengaruhi kualitas daya sistem kelistrikan. Misalnya, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan beban non-linear seperti LHE, lampu neon,

lampu LED, lemari es, televisi, dan motor pompa dapat menimbulkan distorsi harmonik ke dalam sistem kelistrikan (Sungkowo, 2013).

Selain itu, beban non-linear seperti komputer, lampu, televisi, dan peralatan listrik lainnya juga dapat menyebabkan penurunan kualitas daya dan permasalahan kualitas daya berupa harmonisa dalam jaringan listrik (Darmajaya, 2017). Oleh karena itu, sumber harmonisa dalam sistem kelistrikan dapat berasal dari berbagai jenis beban non-linear, dan upaya dapat dilakukan untuk mengurangi distorsi harmonik dengan menggunakan filter pasif, teknik kontrol, dan pendekatan lainnya.

2.10 *Total Harmonic Disrotation (THD)*

Distorsi harmonik total (THD) merupakan perbandingan nilai RMS seluruh komponen harmonik (arus dan tegangan) dengan nilai RMS fundamental. THD biasanya dinyatakan dalam persentase (%THD). Indeks THD ini digunakan untuk mengukur besarnya simpangan suatu bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus murni. Untuk gelombang sinus sempurna, nilai THD-nya adalah 0% (Darma et al., 2019). Distorsi harmonik disebabkan oleh perangkat non-linear dalam sistem tenaga. Suatu perangkat diklasifikasikan sebagai non-linear jika nilai keluarannya tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan (Weking et al., 2013).

Harmonisa terdiri dari distorsi arus harmonik (THD-I) dan distorsi harmonik tegangan (THD-V). Distorsi arus disebabkan oleh penggunaan beban non-linear pada perangkat tenaga listrik. Sebaliknya distorsi harmonik tegangan terjadi akibat harmonisa arus yang mengalir melalui impedansi pada sisi beban. Ada dua standar harmonik yaitu distorsi harmonik arus (THD-I) dan distorsi harmonik tegangan (THD-V). Harmonisa juga mempunyai batasan, hal ini dapat dilihat dengan

membandingkan arus hubung singkat pada PCC (*Point of Common Coupling*) dan IL adalah arus beban fundamental (Surapati et al., 2022).

Ada banyak cara untuk mendeteksi harmonik, termasuk menggunakan teknik sederhana dan perhitungan yang disebut metode *Fast Fourier Transform* (FFT) (Rofii et al., 2021). Persamaan untuk THD tegangan dan arus dapat dituliskan sebagai berikut,

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_n^2 + \dots}}{V_1} \times 100\% \quad (2.9)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_n^2 + \dots}}{I_1} \times 100\% \quad (2.10)$$

Di mana:

V_1 = Tegangan fundamental

V_n = Tegangan pada harmonisa ke-n

I_1 = Arus fundamental

I_n = Arus fundamental pada harmonisa ke-n

2.11 Standar Harmonisa Berdasarkan IEEE 519-2014

Berdasarkan IEEE 519-2014 standar harmonisa sudah diatur sesuai dengan *Point of Common Coupling* (PCC) di mana tingkat tegangan atau pun arus memiliki standar yang berbeda-beda dan memperhitungkan rasio hubung singkatnya.

Berikut tabel standar harmonisa:

Tabel 2. 3 Standar harmonisa IEEE 519-2014 (THD_v)

<i>Bus voltage V at PCC</i>	<i>Individual harmonic (%)</i>	<i>Total harmonic distortion THD (%)</i>
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

Tabel 2. 4 Standar harmonisa IEEE 519-2014 (THD_i)

<i>Maximum harmonic current distortion in percent of I_L</i>						
<i>Individual harmonic order (odd harmonic)^{a,b}</i>						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 35$	<i>TDD</i>
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

2.12 Pengaruh Harmonisa Terhadap Pencahayaan

Dalam pencahayaan, harmonisa memiliki pengaruh terhadap performa dan kualitas pencahayaan. Ada beberapa pengaruh utama harmonisa terhadap pencahayaan yaitu:

1. Penurunan Efisiensi Cahaya (*Lumen Output*)

Distorsi gelombang arus yang diakibatkan oleh harmonisa menyebabkan panas berlebih pada *driver* dan pemborosan daya reaktif. Akibatnya, kualitas cahaya turun (redup) dari seharusnya, meskipun dayanya tetap.

2. Penurunan Umur Lampu

Arus harmonisa dapat mempercepat kerusakan komponen elektronika dalam lampu, seperti *driver* LED. Menyebabkan penurunan usia pakai lampu, biaya pemeliharaan lebih tinggi, serta peningkatan frekuensi penggantian.

3. Kedipan (*Flicker*)

Harmonisa menyebabkan fluktuasi tegangan yang bisa memicu kedipan pada lampu LED. *Flicker* ini tidak selalu terlihat jelas oleh mata manusia, tetapi bisa menyebabkan kelelahan mata, gangguan konsentrasi, sakit kepala, terutama di ruangan kerja kritis seperti ruangan IGD.