

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam memperoleh pengetahuan terkait dengan evaluasi pemanfaatan pencahayaan alami pada ruang perpustakaan, dilakukan tinjauan terhadap jurnal maupun buku dengan topik serupa. Rangkuman dari tinjauan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tinjauan Pustaka yang Terkait dengan Proyek

| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|-------------------------------------|--|--|---|--|
| L. Edwards dan P. Torcellini (2002) | <i>A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants</i> | Menyimpulkan keuntungan-keuntungan yang dimiliki oleh cahaya dengan panjang gelombang berbeda terhadap penghuni sebuah bangunan. | Membaca beragam studi yang dilakukan oleh peneliti-peneliti terkait dengan pengaruh pencahayaan alami dan merangkumnya menjadi sebuah tinjauan. | Efek pencahayaan alami pada perkantoran atau sekolah yaitu: a. Meningkatkan produktivitas. b. Meningkatkan kehadiran pegawai. c. Mengurangi tingkat kecelakaan kerja. d. Meningkatkan kinerja secara mental. e. Meningkatkan kualitas tidur/istirahat. f. Meningkatkan moral/semangat kerja bagi pegawai |

| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|----------------------------|---|--|---|---|
| | | | | <p>yang bekerja pada <i>shift</i> malam.</p> <p>g. Mengurangi peristiwa seperti sakit kepala, <i>seasonal affective disorder</i> (SAD), dan mata lelah.</p> <p>h. Lebih hemat sehingga dapat meningkatkan tabungan finansial perusahaan.</p> |
| Halil Zafer Alibaba (2019) | <i>Analysis of Daylighting Quality in Institutional Libraries</i> | Meningkatkan kenyamanan visual dan termal dalam lingkungan perpustakaan (edukasional), mengurangi penggunaan energi untuk pencahayaan buatan, serta mengintegrasikan pemanfaatan pencahayaan alami dan buatan. | Pengamatan deskriptif-analitik dan simulasi menggunakan perangkat lunak ReluxDesktop. | <p>a. Peletakan perpustakaan harus disesuaikan dengan orientasi/arah cahaya alami yang proporsional.</p> <p>b. Diperlukan perangkat peneduh (<i>shading devices</i>) apabila orientasi/arah perpustakaan tidak dapat memenuhi proporsi cahaya alami yang ideal.</p> |
| Bukar Ali Kime (2018) | <i>Comparative Analysis of</i> | Meningkatkan kenyamanan visual dan | Pengamatan deskriptif-analitik dan | Ada pemakaian energi listrik yang tinggi dari |

| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|--|---|---|--|---|
| | <i>Daylighting and Artificial Lighting in Library Building; Analyzing the Energy Usage of the Library</i> | termal dalam lingkungan perpustakaan (edukasional), mengurangi penggunaan energi untuk pencahayaan buatan, serta mengintegrasikan pemanfaatan pencahayaan alami dan buatan. | simulasi menggunakan perangkat lunak ReluxDesktop. | pemakaian pencahayaan buatan yang banyak pada bangunan dengan sedikit pencahayaan alami. |
| Didem Dan Kilic dan Deniz Hasirci (2011) | <i>Daylighting Concepts for University Libraries and Their Influences on Users' Satisfaction</i> | Mengetahui pengaruh dari pencahayaan alami pada sebuah perpustakaan terhadap kenyamanan/kepuasan pengunjung. | Melakukan pengamatan dan pengukuran, memberikan kuisisioner, serta membuat model fisik (maket). | Pencahayaan alami dan waktu yang dihabiskan sangat memengaruhi kenyamanan/kepuasan pengunjung. |
| Edward T. Dean (2005) | <i>Daylighting Design in Libraries</i> | Mengetahui bagaimana cara-cara memanfaatkan pencahayaan alami pada perpustakaan. | Membaca beragam studi yang dilakukan oleh peneliti-peneliti terkait dengan pengaruh pencahayaan alami dan merangkumnya menjadi sebuah rekomendasi. | Pencahayaan alami dapat dirancang melalui atap dan tembok ruang perpustakaan, serta dapat dikendalikan atau diintegrasikan dengan pencahayaan buatan. |
| Pyon-chan Ihm, Abderrezek Nemri, | <i>Estimation of Lighting Energy</i> | Memprediksikan potensi penghematan energi terkait | Menggunakan analisis perhitungan yang | Penghematan yang signifikan dapat diperoleh apabila |

| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|--|--|---|--|---|
| dan Moncef Krarti (2008) | <i>Savings from Daylighting</i> | dengan energi listrik yang diperoleh dari penggunaan pencahayaan alami | disederhanakan, serta dilakukan juga analisis eksperimental dengan simulasi. | pencahayaan alami dapat dimanfaatkan. Pada simulasi yang dilakukan, dibuktikan bahwa penghematan mencapai 60%. |
| Dr Hasim Altan, Hasim Altan, dan Yuan Zhang (2010) | <i>Lighting Design in Workplaces: A Case Study of Modern Library Building in Sheffield, UK</i> | Menyampaikan konsep dasar dari desain pencahayaan yang digunakan pada ruang kerja, serta studi kasus untuk mendemonstrasikan apakah perpustakaan masa kini telah memenuhi pedoman mengenai desain pencahayaan | Melakukan simulasi dengan perangkat lunak Ecotec. | <ul style="list-style-type: none"> a. Perancangan rak-rak sebaiknya diletakkan paralel terhadap sumber cahaya. b. Jendela pada ujung atas tembok dapat meningkatkan kualitas pencahayaan sebuah ruangan. c. <i>Skylight</i> dapat meningkatkan tingkat pencahayaan secara signifikan. d. Tekstur <i>matte</i> atau penggunaan warna abu-abu pada tembok atau langit-langit dapat mengurangi penyebaran cahaya, sehingga |

| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|--|--|--|---|--|
| | | | | mencegah silau. |
| Osama Omar, Berta Garcia-Fernandez, Antonio Alvarez Fernandez-Balbuena, dan Daniel Vasquez-Molini (2018) | <i>Optimization of Daylight Utilization in Energy Saving Application on the Library in Faculty of Architecture, Design and Built Environment, Beirut Arab University</i> | Melakukan kajian terhadap kondisi pencahayaan alami dalam ruang dan performa energi pada perpustakaan dengan berbagai elemen arsitektur seperti kedalaman ruang, ukuran jendela, sudut halangan eksternal, serta transmitansi kesilauan. | Melakukan analisis dengan menggunakan perangkat lunak AutoCAD Ecotect, DIALux, serta HOBO Logger. | Dengan melakukan kontrol yang baik, pemanfaatan pencahayaan alami pada perpustakaan yang disertai dengan penggunaan perangkat pencahayaan yang hemat energi dapat menghasilkan pengurangan konsumsi energi listrik sebesar 33% per hari. |
| Khaled Alhagla, Alaa Mansour, dan Rana (2019) | <i>Optimizing Windows for Enhancing Daylighting Performance and Energy Saving</i> | Mengurangi konsumsi energi dengan cara menemukan keseimbangan antara pencahayaan alami dan panas matahari. | Melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak Rhinoceros 3D dengan fitur DIVA. | <p>a. Ukuran jendela (WWR) sangat berpengaruh terhadap penghematan energi, sehingga harus benar-benar dirancang dengan baik.</p> <p>b. Pencahayaan alami yang baik biasanya memberikan dampak yaitu masuknya panas ke dalam ruangan, oleh karena itu</p> |

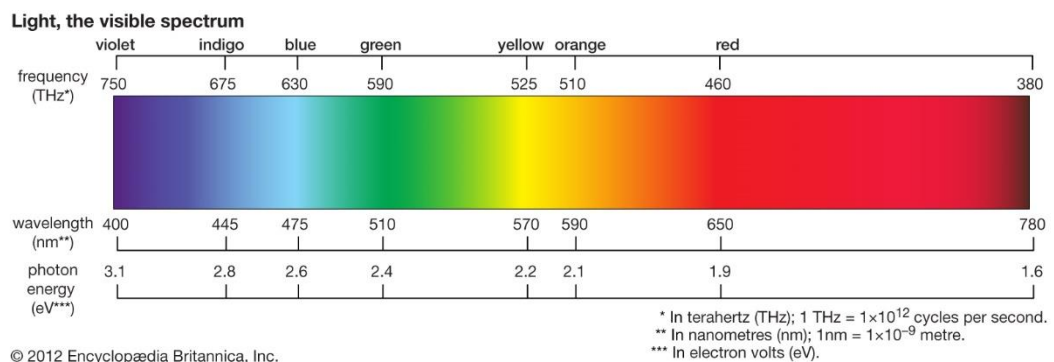
| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|------------------------|---|--|--|--|
| | | | | <p>diperlukan kaca yang dapat mengurangi kesilauan dan <i>heat gain</i>.</p> <p>c. Untuk daerah yang memiliki iklim panas, kaca dengan <i>U-value</i> dan <i>transmission</i> yang tinggi lebih menguntungkan dalam segi penghematan energi.</p> |
| Zeng-zhang Yang (2017) | <i>Research on Natural Lighting in Reading Spaces of University Libraries in Jinan Under the Perspective of Energy-Efficiency</i> | Memberikan usul untuk meningkatkan pencahayaan alami pada ruang baca seperti perpustakaan dalam rangka efisiensi energi. | Melakukan pengukuran langsung dengan menggunakan <i>luxmeter</i> . | <p>a. Menyesuaikan <i>layout</i> untuk ruang baca, seperti dengan meletakkan tempat membaca yang dekat dengan sumber cahaya alami.</p> <p>b. Mengoptimalkan desain jendela.</p> <p>c. Menggunakan <i>reflector panel</i> untuk memberikan keseragaman iluminasi ruangan.</p> <p>d. Menggunakan kaca pada ruang baca.</p> |

| Nama Peneliti (tahun) | Judul | Tujuan | Alat Analisis | Hasil |
|-----------------------|-------|--------|---------------|--|
| | | | | e. Memanfaatkan <i>sun shading</i> yang dapat disesuaikan. |

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Cahaya

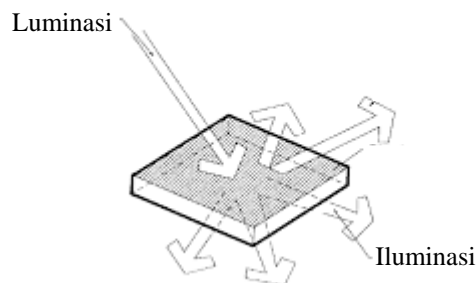
Cahaya merupakan radiasi elektromagnetik yang dapat dilihat oleh mata manusia. Ada banyak jenis radiasi elektromagnetik yang ditentukan berdasarkan panjang gelombangnya. Dari seluruh panjang gelombang tersebut, yang dapat dilihat oleh mata manusia adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang 400-700 nm. Cahaya dengan panjang gelombang 400 nm adalah cahaya berwarna merah, dan cahaya dengan panjang gelombang 700 nm adalah cahaya berwarna ungu. Spektrum panjang gelombang cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia dapat dilihat pada Gambar 2.1. [4] Kecepatan cahaya di ruang vakum merupakan sebuah konstanta dalam ilmu Fisika, yaitu sebesar 299.792.458 m/s.



Gambar 2.1. Spektrum Panjang Gelombang Cahaya [4]

Cahaya merupakan salah satu aspek paling penting bagi keberlangsungan makhluk hidup, karena selain menyediakan bantuan dalam segi visual/penglihatan, cahaya juga dapat memberikan panas melalui radiasi. Salah satu contohnya adalah cahaya matahari yang hingga saat ini terus menjaga temperatur planet bumi agar tetap hangat, membentuk pola cuaca secara global, dan membantu proses fotosintesis berkat energi radiasi matahari yang terus dipancarkan sebesar 10^{22} Joule setiap harinya.

Dalam cahaya terdapat dua buah istilah, yaitu iluminasi dan luminasi. Iluminasi adalah banyaknya arus cahaya yang datang pada satu unit bidang, yang biasanya diukur dalam satuan lux atau lumen/m². Luminasi adalah proses datangnya cahaya dari sumbernya. Visualisasi dari iluminasi dan luminasi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Iluminasi dan Luminasi [5]

2.2.2. Sumber Cahaya

Sebuah sumber cahaya adalah segala sesuatu yang memancarkan cahaya. Ada dua jenis sumber cahaya, yaitu sumber cahaya natural dan sumber cahaya buatan. Contoh sumber cahaya natural adalah matahari, bintang, api, dan petir. Selain itu, ada pula binatang maupun tanaman yang

dapat menghasilkan cahaya sendiri, seperti kunang-kunang, ubur-ubur, serta jamur. Fenomena ini disebut sebagai *bioluminescence*.

Sumber cahaya buatan adalah segala benda yang menghasilkan cahaya, yang diciptakan oleh manusia. Contoh dari sumber cahaya buatan adalah lampu dan senter. Sumber cahaya buatan tidak dapat memancarkan cahaya sendiri seperti halnya sumber cahaya natural. Sumber energi seperti listrik dan baterai dibutuhkan oleh sumber cahaya buatan agar dapat memancarkan cahaya.

Meskipun begitu, tidak seluruh benda yang memancarkan cahaya dapat disebut sebagai sumber cahaya. Benda-benda yang ada di sekitar bisa saja hanya memantulkan cahaya dari sebuah sumber cahaya. Contoh dari benda-benda yang memantulkan cahaya adalah bulan, lantai, tembok, dan meja.

2.2.3. Konsep Pencahayaan Alami

Dalam merancang pencahayaan sebuah bangunan, ada dua buah sumber pencahayaan yang dimanfaatkan yaitu pencahayaan buatan dan pencahayaan alami. Pencahayaan alami merupakan sumber pencahayaan yang berasal dari sinar matahari. Sebagai salah satu sumber energi terbarukan, hal ini menyebabkan pemanfaatan pencahayaan alami menjadi metode yang penting dalam perancangan pencahayaan karena merupakan pilihan yang ramah lingkungan. Selain ramah lingkungan, pencahayaan alami juga terbukti memiliki berbagai efek positif bagi pengguna ruangan [3].

Indonesia merupakan negara yang terletak di sekitar garis khatulistiwa. Pada negara-negara yang terletak di sekitar garis khatulistiwa, matahari berada tepat di atas kepala pada tengah hari ketika terjadi ekuinoks [6]. Hal ini menyebabkan adanya matahari selama kira-kira 12 jam setiap harinya sepanjang tahun. Dengan kondisi geografis tersebut, maka bangunan-bangunan di Indonesia memiliki kesempatan yang sangat besar dalam memanfaatkan pencahayaan alami. Apabila hal tersebut terjadi, penggunaan energi untuk pencahayaan bangunan dapat dikurangi sehingga terjadi penghematan energi yang signifikan dalam skala nasional.

Perancangan pencahayaan alami pada sebuah bangunan biasanya menggunakan bukaan samping (*side lighting*), bukaan atas (*top lighting*), ataupun gabungan antara keduanya [7]. Adapun faktor-faktor yang dapat memengaruhi posisi bukaan tersebut adalah tipe bangunan, ketinggian, rasio bangunan dan tata massa, serta keberadaan bangunan lain di sekitar [8]. Dari kedua tipe bukaan tersebut, yang paling sering dijumpai dalam bangunan-bangunan adalah pencahayaan alami dengan bukaan samping, karena dapat memberikan keleluasaan pandangan, orientasi, konektivitas luar dan dalam, serta ventilasi udara.

2.2.4. Standar-Standar Pencahayaan Alami

Standar merupakan bentuk upaya perlindungan keselamatan, kesehatan, dan keamanan bagi warga sebuah negara [9]. Oleh karena itu, standar dalam sebuah negara akan disusun oleh lembaga resmi pemerintahan

negara tersebut. Di Indonesia, standar ini dinamakan Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI disusun oleh Komite Teknis dan kemudian ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) [10].

SNI yang berhubungan dengan pencahayaan alami pada bangunan ada dua, yaitu SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung dan SNI 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan. Pada SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung, persamaan untuk menentukan faktor pencahayaan alami siang hari yaitu:

$$fl = \frac{1}{2\pi} \left(\arctan L/D - \frac{1}{\sqrt{1+(H/D)^2}} \arctan \frac{L/D}{\sqrt{1+(H/D)^2}} \right) \dots\dots\dots(1)$$

dengan keterangan L adalah lebar lubang cahaya efektif dalam meter, H adalah tinggi lubang cahaya efektif dalam meter, dan D adalah jarak titik ukur ke lubang cahaya dalam meter.

$$frl = (fl)_p \times L_{rata-rata} \dots\dots\dots(2)$$

$$frd = \frac{\tau_{kaca}}{A(1-R)} \times (C \cdot R_{fw} + 5 \cdot R_{cw}) \dots\dots\dots(3)$$

dengan keterangan frl adalah faktor refleksi luar dengan satuan persen, frd adalah faktor refleksi dalam dengan satuan persen, fl_p adalah faktor langit jika tidak ada penghalang, L_{rata-rata} adalah perbandingan antara luminansi penghalang dengan luminansi rata-rata langit, τ_{kaca} adalah faktor transmisi cahaya dari kaca penutup lubang cahaya dengan besar tergantung pada jenis kaca yang nilainya dapat diperoleh dari katalog yang dikeluarkan

oleh produsen kaca, A adalah luas seluruh permukaan dalam ruangan, R adalah faktor refleksi rata-rata seluruh permukaan, W adalah luas lubang cahaya, R_{cw} faktor refleksi rata-rata dari langit-langit dan dinding bagian atas dimulai dari bidang yang melalui tengah-tengah lubang cahaya tidak termasuk dinding di mana lubang cahaya terletak, C adalah konstanta yang besarnya tergantung dari sudut penghalang, dan R_{fw} adalah faktor refleksi rata-rata lantai serta dinding bagian bawah dimulai dari bidang yang melalui tengah-tengah lubang cahaya tidak termasuk dinding di mana lubang cahaya terletak.

Salah satu persyaratan teknis dalam SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung adalah klasifikasi kualitas pencahayaan yang dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

- a. Kualitas A: kerja halus sekali, pekerjaan secara cermat terus-menerus, seperti menggambar detail, menggravir, menjahit kain warna gelap, dan sebagainya.
- b. Kualitas B: kerja halus, pekerjaan cermat tidak secara intensif terus-menerus, seperti menulis, membaca, membuat alat atau merakit komponen-komponen kecil, dan sebagainya.
- c. Kualitas C: kerja sedang, pekerjaan tanpa konsentrasi yang besar dari si pelaku, seperti pekerjaan kayu, merakit suku cadang yang agak besar, dan sebagainya.

d. Kualitas D: kerja kasar, pekerjaan di mana hanya detail-detail yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu lintas orang, dan sebagainya.

Berdasarkan klasifikasi tersebut, ruang perpustakaan termasuk ke dalam Kualitas B karena pekerjaan yang dilakukan di dalam ruang perpustakaan adalah menulis dan membaca. Sebagai tindak lanjut dari klasifikasi tersebut, disusun pula nilai faktor langit minimum untuk berbagai bangunan seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai Faktor Langit untuk Bangunan Umum [11]

| Klasifikasi Pencahayaan | f_{\min} Titik Ukur Utama |
|-------------------------|-----------------------------|
| A | $0,45 \times d$ |
| B | $0,35 \times d$ |
| C | $0,25 \times d$ |
| D | $0,15 \times d$ |

Di mana titik ukur utama (TUU) merupakan titik ukur utama, yang merupakan titik tengah antara kedua dinding samping dengan jarak 0,75 meter dari permukaan lantai dan $1/3$ dari panjang ruang yang menghadap lubang cahaya yang dilambangkan dengan huruf d.

Dalam Standar Internasional (SI), besaran pokok intensitas cahaya memiliki besaran kandela. Kandela memiliki hubungan dengan lumen dan lux, dua buah istilah yang sering dijumpai dalam pencahayaan. Lumen merupakan satuan jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sebuah sumber cahaya, dengan nilai 1 kandela adalah 1 lumen per steradian. Lux merupakan satuan fluks cahaya per satuan luas, dengan nilai 1 lux adalah 1 lumen per meter persegi. Berdasarkan pengertian di atas, maka dari itu satuan

pengukuran yang akan dipakai dalam pengambilan data ini adalah lux, karena pengukuran akan dilakukan terhadap titik-titik yang mewakili bagian luas dari permukaan yang dihitung.

Standar yang mengatur mengenai tingkat pencahayaan minimum ruangan dalam sebuah bangunan terdapat pada SNI 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan, dengan nilai untuk perpustakaan sebesar minimal 300 lux seperti tertera pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Tingkat Pencahayaan Minimum yang Direkomendasikan pada SNI 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan [12]

| Fungsi Ruangan | Tingkat Pencahayaan (lux) |
|----------------------------|----------------------------------|
| Lembaga Pendidikan: | |
| Ruang kelas | 250 |
| <u>Perpustakaan</u> | <u>300</u> |
| Laboratorium | 500 |
| Ruang gambar | 750 |
| Kantin | 200 |

Dalam ranah internasional, terdapat lembaga yang dinamakan *International Organization for Standardization (ISO)*, di mana lembaga ini berperan dalam penyusunan standar-standar internasional. ISO yang mengatur pencahayaan pada sebuah bangunan adalah ISO 8995:2002(E) CIE S 008/E-2001 tentang *Lighting of Indoor Work Places*. Pada standar ini juga diatur mengenai tingkat pencahayaan minimum ruangan dalam sebuah bangunan, dengan nilai untuk perpustakaan dengan rincian pada Tabel 2.4 [13].

Tabel 2.4. Tingkat Pencahayaan Minimum yang Direkomendasikan pada ISO 8995:2002(3) CIE S 008/E-2001 tentang *Lighting of Indoor Work Places*

| Fungsi Ruangan | Tingkat Pencahayaan (lux) |
|-----------------------|----------------------------------|
| Perpustakaan: | |
| Lemari buku | 200 |
| Area membaca | 500 |
| Meja administrasi | 500 |

2.2.5. Konsep Pengukuran Pencahayaan Alami

Ada dua hal yang dapat dihitung dalam pengukuran pencahayaan alami. Pertama adalah faktor langit untuk mengetahui potensi pencahayaan alami yang dimiliki oleh sebuah ruang, dan kedua adalah tingkat pencahayaan untuk memastikan bahwa pencahayaan yang digunakan dalam ruangan tersebut dapat memenuhi kebutuhan pengguna untuk melakukan kegiatan. Perhitungan untuk faktor langit dapat ditemukan pada SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung, sedangkan perhitungan untuk tingkat pencahayaan dapat ditemukan pada SNI 7062:2019 tentang Pengukuran Intensitas Pencahayaan di Tempat Kerja.

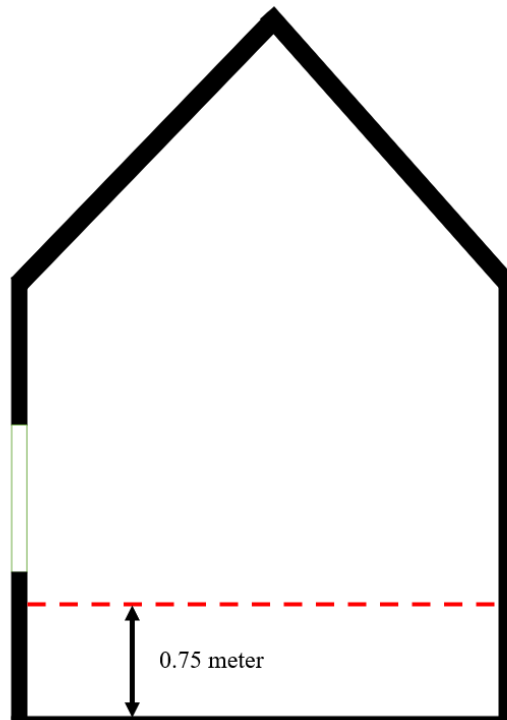
2.2.3.1. Faktor Langit

Sebelum menentukan faktor langit, perlu diketahui mengenai faktor pencahayaan alami siang hari. Faktor pencahayaan alami siang hari adalah perbandingan tingkat pencahayaan pada suatu titik dari satu bidang tertentu di dalam suatu ruangan terhadap tingkat pencahayaan bidang datar di lapangan terbuka yang merupakan ukuran kinerja lubang cahaya ruangan

tersebut. Faktor pencahayaan alami siang hari dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu komponen langit (faktor langit) yang merupakan pencahayaan langsung dari cahaya langit, komponen refleksi luar (faktor refleksi luar) yang merupakan pencahayaan dari refleksi benda-benda yang ada di sekitar bangunan yang bersangkutan, dan komponen refleksi dalam (faktor refleksi dalam) yang merupakan pencahayaan dari refleksi permukaan-permukaan dalam ruangan, refleksi benda-benda di luar ruangan, maupun dari cahaya langit.

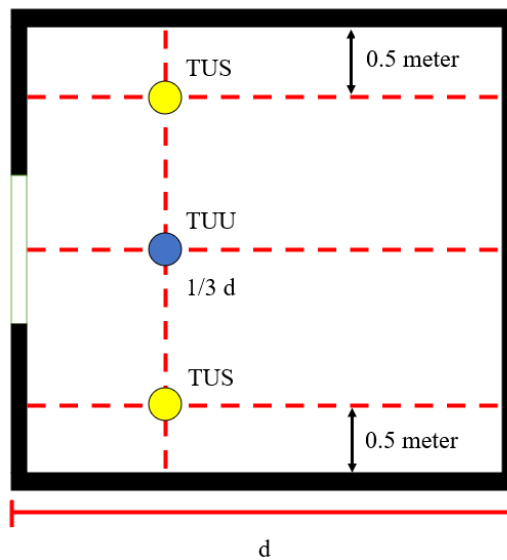
Faktor langit merupakan perbandingan tingkat pencahayaan langsung dari langit di suatu titik dengan tingkat pencahayaan oleh terang langit pada bidang datar di lapangan terbuka. Perhitungan ini dilakukan dengan keadaan dilakukan secara bersamaan, distribusi terang langit yang merata, serta menganggap seluruh jendela maupun lubang cahaya tidak tertutup kaca.

Ada beberapa hal yang perlu ditentukan dalam melakukan perhitungan faktor langit, yaitu menentukan TUU dan TUS. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, TUU merupakan titik ukur utama, yang merupakan titik tengah antara kedua dinding samping dengan jarak 0,75 meter dari permukaan lantai dan $\frac{1}{3}$ dari panjang ruang yang menghadap lubang cahaya, sedangkan TUS merupakan titik ukur samping, yang memiliki jarak 0,5 meter dari dinding samping dan 0,75 meter dari permukaan lantai, dan $\frac{1}{3}$ dari panjang ruang yang menghadap lubang cahaya, seperti terlihat pada Gambar 2.3. dan 2.4. secara berturut-turut.



Gambar 2.3. Visualisasi Tampak Samping Ruang untuk Perhitungan Faktor

Langit



Gambar 2.4. Visualisasi Tampak Atas Ruang untuk Perhitungan Faktor Langit

Apabila kedua dinding yang berhadapan tidak sejajar yang menyebabkan jarak d tidak sejajar, maka nilai d diambil sebagai jarak tengah antara kedua dinding samping tersebut, atau dapat diambil jarak rata-ratanya. Selain itu, pada ruangan dengan jarak d sama dengan atau kurang dari 6 meter, maka ketentuan jarak $1/3 d$ diganti dengan jarak minimum 2 meter.

Untuk ruangan dengan pencahayaan langsung dari lubang cahaya pada satu dinding, nilai faktor langit (fl) dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Setiap ruangan yang menerima pencahayaan langsung dari langit melalui lubang atau jendela pada satu dinding, maka fl yang diteliti harus berasal dari satu TUU dan dua TUS.
- b. Jarak antara dua titik ukur tidak boleh lebih besar dari 3 meter. Contohnya pada ruangan yang memiliki panjang lebih dari 7 meter, fl yang diukur harus lebih dari tiga titik ukur dengan menambah jumlah TUU.

Untuk ruangan dengan pencahayaan langsung dari lubang cahaya di dua dinding yang berhadapan, nilai fl dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

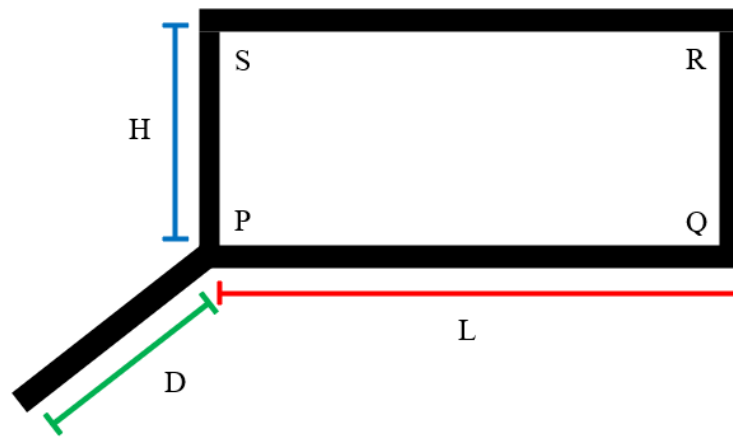
- a. Ruangan yang menerima pencahayaan langsung dari langit melalui lubang atau jendela di dua dinding yang berhadapan (sejajar), maka setiap bidang lubang cahaya efektif memiliki kelompok titik ukurnya sendiri.
- b. Kelompok titik ukur utama, yaitu dari bidang lubang cahaya efektif yang paling penting, berlaku ketentuan dari tabel fl .

- c. Kelompok titik ukur kedua ditetapkan syarat minimum sebesar 30% dari yang tercantum pada ketentuan tabel fl.
- d. Dalam hal ini, fl untuk setiap titik ukur merupakan jumlah faktor langit yang diperoleh dari lubang cahaya pada kedua dinding.
- e. Pada kelompok titik ukur kedua, apabila jarak antara kedua bidang lubang cahaya efektif kurang dari 6 meter, maka poin c dianggap tidak berlaku.
- f. Apabila jarak pada poin e lebih dari 4 meter dan kurang dari 9 meter, maka dianggap telah memenuhi apabila luas total lubang cahaya efektif kedua sekurang-kurangnya 40% dari luas lubang cahaya efektif pertama. Dalam hal ini, luas lubang cahaya efektif kedua adalah bagian dari bidang lubang cahaya dengan letak di antara tinggi 1 meter dan 3 meter.

Untuk ruangan dengan pencahayaan langsung dari lubang cahaya di dua dinding yang saling memotong, nilai fl dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Apabila suatu ruangan menerima pencahayaan langsung dari langit melalui lubang atau jendela di dua dinding yang saling memotong kurang lebih tegak lurus, maka untuk dinding kedua hanya diperhitungkan satu TUU tambahan saja.
- b. Syarat untuk TUU pada poin a yaitu 50% dari yang berlaku untuk TUU bidang lubang cahaya efektif pertama.
- c. Jarak TUU tambahan ini sampai pada bidang lubang cahaya efektif kedua diambil $\frac{1}{3}$ dari d, di mana d adalah ukuran dalam menurut bidang lubang cahaya efektif pertama.

Perhitungan besarnya faktor langit untuk titik ukur pada bidang kerja di dalam ruangan dilakukan dengan metode analisis yang menyatakan f_l sebagai fungsi dari H/D dan L/D . Gambar 2.5. menunjukkan visualisasi fungsi H/D dan L/D , serta Tabel 2.5. dan 2.6. menunjukkan nilai faktor langit yang didapatkan dari perhitungan.



Gambar 2.5. Fungsi H/D dan L/D pada Faktor Langit

Dengan keterangan H adalah tinggi lubang cahaya efektif, L adalah lebar lubang cahaya efektif, D adalah jarak titik ukur ke bidang lubang cahaya efektif. Jarak H diukur dari titik P ke titik S , dan jarak L diukur dari titik P ke titik Q .

Tabel 2.5. Nilai Faktor Langit dalam %

| L/D H/D | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 0.1 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.10 |
| 0.2 | 0.06 | 0.12 | 0.17 | 0.22 | 0.27 | 0.30 | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.40 |
| 0.3 | 0.13 | 0.26 | 0.37 | 0.48 | 0.57 | 0.65 | 0.72 | 0.77 | 0.82 | 0.86 |
| 0.4 | 0.22 | 0.43 | 0.62 | 0.80 | 0.96 | 1.09 | 1.20 | 1.30 | 1.38 | 1.44 |
| 0.5 | 0.32 | 0.62 | 0.91 | 1.17 | 1.39 | 1.59 | 1.76 | 1.90 | 2.02 | 2.11 |
| 0.6 | 0.42 | 0.82 | 1.20 | 1.55 | 1.85 | 2.12 | 2.34 | 2.53 | 2.69 | 2.83 |
| 0.7 | 0.52 | 1.02 | 1.50 | 1.93 | 2.31 | 2.64 | 2.93 | 3.18 | 3.38 | 3.55 |
| 0.8 | 0.62 | 1.22 | 1.78 | 2.29 | 2.75 | 3.26 | 3.50 | 3.80 | 4.05 | 4.26 |
| 0.9 | 0.71 | 1.40 | 2.04 | 2.64 | 3.17 | 3.63 | 4.04 | 4.39 | 4.69 | 4.94 |
| 1.0 | 0.79 | 1.56 | 2.29 | 2.95 | 3.56 | 4.09 | 4.55 | 4.95 | 5.29 | 5.57 |
| 1.5 | 1.10 | 2.17 | 4.13 | 4.13 | 4.99 | 5.77 | 6.45 | 7.05 | 7.58 | 8.03 |
| 2.0 | 1.27 | 2.51 | 4.80 | 4.80 | 5.81 | 6.74 | 7.56 | 8.29 | 8.94 | 9.51 |
| 2.5 | 1.37 | 2.70 | 3.98 | 3.98 | 6.29 | 7.31 | 8.22 | 9.03 | 9.76 | 10.40 |
| 3.0 | 1.43 | 2.82 | 4.16 | 4.16 | 6.59 | 7.66 | 8.62 | 9.49 | 10.27 | 10.96 |
| 3.5 | 1.47 | 2.90 | 4.28 | 4.28 | 6.78 | 7.89 | 8.89 | 9.79 | 10.60 | 11.33 |
| 4.0 | 1.49 | 2.96 | 4.36 | 4.36 | 6.91 | 8.04 | 9.07 | 10.00 | 10.83 | 11.58 |
| 4.5 | 1.51 | 2.99 | 4.41 | 4.41 | 7.01 | 8.15 | 9.20 | 10.15 | 11.00 | 11.76 |
| 5.0 | 1.53 | 3.02 | 4.46 | 4.46 | 7.07 | 8.24 | 9.29 | 10.25 | 12.12 | 11.90 |
| 6.0 | 1.54 | 3.06 | 4.51 | 4.51 | 7.17 | 8.34 | 9.42 | 10.40 | 11.28 | 11.07 |

Tabel 2.6. Nilai Faktor Langit dalam %

| L/D H/D | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 6.0 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.1 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 0.2 | 0.45 | 0.47 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.49 |
| 0.3 | 0.97 | 1.01 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |
| 0.4 | 1.63 | 1.71 | 1.74 | 1.76 | 1.77 | 1.78 | 1.78 | 1.78 | 1.78 |
| 0.5 | 2.40 | 2.52 | 2.57 | 2.60 | 2.61 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63 |
| 0.6 | 3.22 | 3.39 | 3.46 | 3.50 | 3.52 | 3.54 | 3.54 | 3.54 | 3.55 |
| 0.7 | 4.07 | 4.29 | 4.39 | 4.40 | 4.47 | 4.48 | 4.50 | 4.50 | 4.51 |
| 0.8 | 4.90 | 5.18 | 5.31 | 5.37 | 5.41 | 5.43 | 5.45 | 5.45 | 5.46 |
| 0.9 | 5.71 | 6.04 | 6.04 | 6.20 | 6.28 | 6.33 | 6.36 | 6.39 | 6.40 |
| 1.0 | 6.47 | 6.87 | 7.06 | 7.16 | 7.22 | 7.25 | 7.28 | 7.28 | 7.30 |
| 1.5 | 9.52 | 10.23 | 10.59 | 10.79 | 10.90 | 10.97 | 11.05 | 11.05 | 11.08 |
| 2.0 | 11.44 | 12.43 | 12.96 | 13.26 | 13.44 | 13.55 | 13.62 | 13.67 | 13.73 |
| 2.5 | 12.64 | 13.85 | 14.52 | 14.92 | 15.16 | 15.32 | 15.42 | 15.49 | 15.58 |
| 3.0 | 13.41 | 14.78 | 15.58 | 16.06 | 16.36 | 16.56 | 16.70 | 16.79 | 16.91 |
| 3.5 | 13.93 | 15.42 | 16.31 | 16.87 | 17.22 | 17.46 | 17.64 | 17.74 | 17.89 |
| 4.0 | 14.30 | 15.88 | 16.84 | 17.45 | 17.85 | 18.13 | 18.32 | 18.46 | 18.63 |
| 4.5 | 14.56 | 16.21 | 17.23 | 17.89 | 18.33 | 18.63 | 18.85 | 19.01 | 19.21 |
| 5.0 | 14.75 | 16.45 | 17.52 | 18.22 | 18.69 | 19.03 | 19.26 | 19.44 | 19.67 |
| 6.0 | 15.01 | 16.79 | 17.92 | 18.68 | 19.20 | 19.58 | 19.85 | 20.06 | 20.33 |

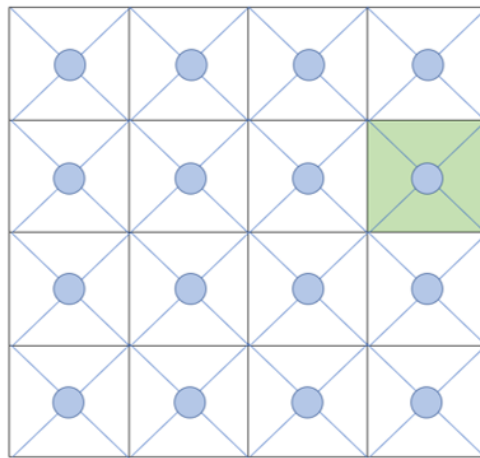
2.2.3.2. Tingkat Pencahayaan

Berdasarkan SNI 7062:2019 tentang Pengukuran Intensitas Pencahayaan di Tempat Kerja, pengukuran pencahayaan umum dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. Luas ruangan kurang dari 50 m²: jumlah titik pengukuran dihitung dengan mempertimbangkan satu titik pengukuran mewakili area maksimal 3 m². Titik pengukuran merupakan titik temu antara dua garis diagonal panjang dan lebar ruangan.
- b. Luas ruangan antara 50 m² sampai 100 m²: jumlah titik pengukuran minimal 25 titik.

c. Luas ruangan lebih dari 100 m²: jumlah titik pengukuran minimal 36 titik.

Gambar 2.6. menunjukkan contoh penentuan titik pengukuran pencahayaan umum dengan luas 25 m² dengan titik biru sebagai titik *sampling* di mana dua diagonal bagian ruangan dengan luas kurang dari 3 m² bertemu.



Gambar 2.6. Contoh Penentuan Titik Pengukuran Pencahayaan Umum dengan Luas 25 m²

Dalam pelaksanaan pengukuran, harus diperhatikan bahwa sensor perlu diletakkan sejajar dengan permukaan yang diukur, posisi diri disesuaikan sedemikian rupa agar tidak menghalangi cahaya yang jatuh ke sensor *luxmeter*, dan menggunakan pakaian yang tidak memantulkan cahaya sehingga tidak memengaruhi hasil pengukuran. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran tingkat pencahayaan adalah sebagai berikut:

- a. Menghidupkan *luxmeter*.
- b. Memastikan rentang skala pengukuran pada *luxmeter* sesuai dengan tingkat pencahayaan yang ingin diukur.

- c. Membuka penutup sensor.
- d. Melakukan pengecekan pembacaan yang muncul pada layar ketika sensor ditutup rapat bahwa angka harus bernilai nol.
- e. Membawa alat ke tempat titik pengukuran yang telah ditentukan.
- f. Melakukan pengukuran dengan ketinggian sensor alat 0.75 meter dari lantai.
- g. Membaca hasil pengukuran pada layar setelah memperoleh nilai angka yang stabil.
- h. Melakukan pengukuran pada titik yang sama sebanyak tiga kali.
- i. Mencatat hasil pengukuran pada lembar hasil pencatatan.
- j. Mematikan *luxmeter* setelah selesai melakukan pengukuran tingkat pencahayaan.

Setelah melakukan pengukuran tingkat pencahayaan dengan langkah-langkah di atas, dapat diketahui bahwa nilai tingkat pencahayaan ruangan tersebut telah atau belum sesuai dengan standar yang ada yaitu pada SNI 6197:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan.

2.2.6. Strategi Penanggulangan Dampak Pencahayaan Alami

Selain memberikan keuntungan dalam menghemat energi, pencahayaan alami juga memberikan dampak terhadap bangunan dalam rupa radiasi matahari dan silau (*glare*) [14]. Radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan akan menyebabkan meningkatnya temperatur dalam ruang, sehingga memperbesar beban pendinginan (*cooling load*) yang diperlukan sistem

pendingin bangunan. Hal tersebut menyebabkan meningkatnya konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruangan. Cahaya matahari langsung yang masuk ke dalam ruangan juga dapat menyebabkan silau yang dihasilkan oleh pantulan cahaya pada permukaan-permukaan kerja, seperti layar komputer atau *laptop*, meja, papan tulis, dan lain-lain.

Oleh sebab itu, diperlukan strategi-strategi penanggulangan dampak dari pencahayaan alami. Kegiatan tersebut dapat dilakukan dalam bentuk pengendalian cahaya matahari langsung yang masuk ke dalam ruangan. Strategi-strategi yang dapat dilakukan untuk mewujudkan hal tersebut menurut [15] adalah sebagai berikut:

- a. Naungan (*shade*) yang dimanfaatkan untuk mencegah silau dan panas berlebihan yang masuk ke dalam ruangan melalui cahaya matahari langsung.
- b. Pengalihan (*redirect*) yang merupakan kegiatan mengarahkan cahaya matahari hanya ke tempat-tempat yang diperlukan agar pembagian cahaya dapat cukup dan sesuai kebutuhan.
- c. Pengendalian (*control*) untuk mengontrol jumlah cahaya yang masuk ke dalam ruang sesuai dengan kebutuhan dan waktu yang diinginkan.
- d. Efisiensi dengan membentuk ruangan yang sedemikian rupa agar terintegrasi dengan pencahayaan buatan dan material yang dapat memantulkan maupun menyerap cahaya dengan baik.

e. Integrasi dengan arsitektur bangunan, seperti dengan pemanfaatan *double skin façade* untuk mengurangi luas permukaan di mana cahaya dapat masuk melalui bukaan atau jendela.

Selain dari strategi-strategi di atas, penanggulangan dampak pencahayaan alami juga dapat dilakukan pada proses perancangan awal bangunan dengan cara menentukan orientasi bangunan. Perancangan bangunan yang memiliki bukaan atau jendela dengan jumlah minimal pada orientasi timur dan barat akan mengurangi radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan dan juga potensi adanya silau pada permukaan ruangan. Hal ini disebabkan oleh lintasan matahari yang bergerak dari timur ke barat yang menyebabkan masuknya cahaya matahari langsung secara terus-menerus dari pagi hingga sore hari. Posisi matahari pada pagi dan sore hari yang rendah sehingga sejajar dengan posisi bukaan pada bangunan juga menyebabkan kurang efektifnya pemanfaatan naungan [16].

2.2.7. Ragam Jenis Lampu

Lampu merupakan sumber cahaya buatan manusia. Seiring berjalannya waktu dan berkembangnya teknologi, lampu juga mengalami perkembangan. Adapun ragam jenis lampu yang sering kali dijumpai adalah lampu pijar (*incandescent lamp*), lampu neon (*fluorescent lamp*), lampu halogen, dan lampu *Light Emitting Diode* (LED). Karakteristik dari masing-masing lampu yaitu:

- a. Lampu pijar: lampu yang menyala karena panas yang dihasilkan oleh listrik yang mengalir pada kawat pijar. Lampu pijar memiliki kelebihan yaitu harga yang murah dan dapat dikontrol tingkat terangnya. Meskipun begitu, lampu pijar sangat boros energi karena sebagian besar dari energi listrik yang dialirkan terlepas dalam bentuk kalor.
- b. Lampu neon: lampu yang menyala karena reaksi listrik dengan lapisan fosfor yang ada pada tabung lampu. Lampu neon sering dikenal sebagai lampu *tubular* (*tubular lamp*/TL). Kelebihan lampu ini dibandingkan lampu pijar adalah lebih hemat energi, cahaya yang dihasilkan lebih terang, dan usia lampu lebih panjang. Perkembangan lampu neon saat ini adalah lampu neon kompak (*compact fluorescent lamp*/CFL) yang memiliki ukuran lebih kecil. Kekurangan dari lampu ini adalah bahaya yang ditimbulkan bagi manusia dan lingkungan ketika menjadi limbah, karena lampu ini mengandung merkuri.
- c. Lampu halogen: lampu yang menyala karena panas yang dihasilkan listrik yang mengalir pada kawat. Jenis lampu ini mirip dengan lampu pijar, yang membedakan adalah adanya gas inert dan halogen seperti bromin atau yodium pada lampu halogen. Kelebihan lampu halogen adalah harga yang murah, dapat dikontrol tingkat terangnya, serta memiliki usia lampu yang lebih panjang dibandingkan dengan lampu pijar. Sama seperti lampu pijar, kekurangan dari lampu halogen adalah boros energi.
- d. Lampu LED: lampu yang menyala karena dioda yang dialiri listrik. Lampu ini merupakan jenis lampu yang sering dijumpai karena sifatnya yang

sangat hemat energi, memiliki usia lampu yang panjang, ramah lingkungan karena tidak mengandung merkuri, dan bahkan dapat turut dikontrol tingkat terangnya.

2.2.8. Perhitungan Tarif Tenaga Listrik

Menurut Peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 28 Tahun 2018, Tarif Tenaga Listrik (TTL) adalah tarif tenaga listrik untuk konsumen yang disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Tarif tenaga listrik terdiri atas beberapa jenis sesuai dengan pemakaiannya, yaitu tarif tenaga listrik untuk keperluan pelayanan sosial, rumah tangga, bisnis, industri, keperluan kantor pemerintah dan penerangan jalan umum, keperluan traksi pada tegangan menengah, keperluan penjualan curah pada tegangan menengah, serta keperluan layanan khusus pada tegangan rendah, menengah, dan tinggi.

Universitas Multimedia Nusantara termasuk ke dalam golongan tarif tenaga listrik untuk keperluan industri. Adapun tarif tenaga listrik untuk keperluan industri juga dibagi menjadi tiga, pertama adalah golongan tarif untuk keperluan bisnis kecil pada tegangan rendah dengan daya 450-5.550 VA (B-1/TR), golongan tarif untuk keperluan bisnis menengah pada tegangan rendah dengan daya 6.600-200.000 VA (B-2/TR), dan golongan tarif untuk keperluan bisnis besar pada tegangan menengah dengan daya di atas 200.000 VA (B-3/TM) [17]. Dengan daya sebesar 2.215.000 VA, Universitas

Multimedia Nusantara termasuk ke dalam golongan tarif untuk bisnis besar pada tegangan menengah (B-3/TM).

Dalam perhitungan tarif tenaga listrik, ada dua buah istilah yaitu Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP). Waktu beban puncak jatuh pada pukul 17.00 hingga 22.00 setiap hari, di mana pada waktu tersebut merupakan puncak pemakaian listrik oleh seluruh konsumen. Luar waktu beban puncak jatuh pada pukul 22.00 hingga 17.00 setiap hari, atau selain waktu yang tertera pada waktu beban puncak. Tarif tenaga listrik pada WBP lebih tinggi dari pada tarif tenaga listrik pada LWBP. Untuk kategori tarif tenaga listrik UMN sendiri, yaitu pada B-3/TM, tarif WBP-nya adalah sebesar Rp1.553,67/kWh sedangkan tarif LWBP-nya adalah sebesar Rp1.035,78/kWh.

2.2.9. Teknologi Pemodelan Pencahayaan Alami

Perkembangan teknologi yang semakin pesat pada masa kini memberikan banyak keuntungan yang diperoleh dalam bidang perancangan bangunan. Dengan adanya perkembangan teknologi tersebut, bangunan dapat dirancang, dianalisis, dan dievaluasi terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak (*software*) sebelum dibangun secara fisik. Hal ini sangat berguna untuk mengetahui performa berbagai bagian dalam sebuah bangunan seperti HVAC dan pencahayaan.

Terdapat beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk merancang pencahayaan, salah satunya adalah perangkat lunak DIALux evo.

Perangkat lunak DIALux evo merupakan perangkat lunak gratis (*free software*) yang sering digunakan oleh para profesional untuk melakukan perancangan pencahayaan. DIALux evo berasal dari perusahaan DIAL yang berasal dari Jerman. Perusahaan tersebut telah ada sejak tahun 1989 sebagai *German Institute for Applied Lighting Technology* (DIAL) dan pada tahun 1994 mulai berfokus dalam pengembangan perangkat lunak DIALux.

DIALux evo dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dalam bidang perancangan pencahayaan, seperti menghitung dan memvisualisasikan pencahayaan pada ruangan secara 3D, bangunan, jalan, area *outdoor*, hingga pencahayaan alami. Adapun hal-hal yang termasuk dalam perhitungan pencahayaan dalam DIALux evo adalah kuat penerangan, persebaran penerangan, pencahayaan alami yang dapat diatur lokasi hingga waktunya, hingga konsumsi energi yang terpakai dalam proyek yang dikerjakan. Selain itu, perangkat lunak DIALux evo juga memiliki kelebihan yaitu telah bekerja sama dengan lebih dari 190 produsen pencahayaan di seluruh dunia yang menawarkan produknya untuk dapat diimplementasikan ke dalam perancangan pada perangkat lunak. Tingkat akurasi dari perangkat lunak DIALux evo sangat baik. Hal ini dibuktikan oleh hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan oleh tim DIAL sesuai dengan standar pada CIE 171:2006 tentang *Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs*. Dari eksperimen dan perhitungan, diperoleh bahwa perangkat lunak DIALux evo memberikan hasil perhitungan yang akurat dengan batas kesalahan (*margin of error*) <1% [18].

Adapun standar-standar yang menjadi bagian dalam perangkat lunak DIALux evo adalah EN12464-1, 20011-08 *Indoor work places*, EN 12464-2, 2014-05 *Outdoor work places*, DIN V 18599 *Energetic rating of buildings part 10* (2011), CIE 097-2005 *2nd Edition: Guide to the maintenance of electric lighting equipment*, EN13201:2004, EN13201:2015, dan ROVL 2011 [19].