

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami mengacu pada penggunaan cahaya matahari sebagai sumber penerangan dalam suatu bangunan, yang memainkan peran penting dalam kenyamanan visual dan kualitas arsitektural. Sumber cahaya ini tidak hanya membantu dalam mengurangi konsumsi energi untuk pencahayaan buatan, tetapi juga berkontribusi terhadap kenyamanan dan kesejahteraan penghuni ruangan. Penelitian menunjukkan bahwa pencahayaan alami yang tepat dapat meningkatkan produktivitas dan kesehatan mental pengguna ruang (Dasrizal et al., 2023; Vicaningrum & Marcillia, 2024; Vicaningrum & Marcillia, 2024). Dalam konteks ini, pencahayaan alami yang sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia) harus diintegrasikan dalam desain bangunan, agar dapat memberikan manfaat optimal bagi penghuninya (Jannah, 2022).

Terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam analisis pencahayaan alami, seperti orientasi bangunan, ukuran dan posisi jendela, serta desain fasad. Orientasi bangunan memainkan peran penting dalam memaksimalkan penerimaan cahaya matahari. Penelitian menunjukkan bahwa bangunan yang diorientasikan dengan baik dapat meningkatkan jumlah cahaya alami yang masuk dan mengurangi kebutuhan akan pencahayaan buatan, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih nyaman untuk penghuninya (Dasrizal et al., 2023). Selain itu, ukuran dan posisi jendela juga sangat berpengaruh terhadap intensitas pencahayaan alami di dalam ruangan. Jendela yang lebih besar dan terletak strategis dapat meningkatkan kenyamanan visual dan membantu mendistribusikan cahaya secara lebih merata di dalam ruangan (Jannah, 2022). Desain fasad juga berkontribusi signifikan terhadap pencahayaan alami. Fasad yang dirancang dengan memperhatikan elemen seperti atap, eaves, dan material dapat membantu mengendalikan masuknya cahaya langsung dan membuka pandangan luar, menciptakan perasaan keterhubungan antara interior dan

eksterior (Dasrizal et al., 2023). Penggunaan ornamen atau elemen desain lainnya pada fasad sering kali berfungsi secara estetis dan juga membantu dalam pengaturan pencahayaan dan suhu ruangan, meskipun relevansinya tergantung pada konteks spesifik fasad tersebut (Taqiuddin et al., 2023). Secara keseluruhan, pencahayaan alami tidak hanya merupakan soal estetika, tetapi juga kesehatan dan kesejahteraan pengguna ruang. **Tabel 1** merupakan standar pencahayaan alami pada bangunan tipologi perkantoran telah ditetapkan di negara Indonesia.

Tabel 1 Standar Pencahayaan Alami

Fungsi ruang kantor	Tingkat pencahayaan (lux)
Ruang Direktur	350
Ruang kerja	350
Ruang komputer	350
Ruang rapat	300
Ruang gambar	750
Gudang arsip	150

Sumber : SNI 03-6197-2011

2.1.1 Rasio Buka-an Jendela

Rasio bukaan jendela atau *Window to Wall Ratio* (WWR) adalah perbandingan antara total luas bukaan pada jendela dengan luas area lantai suatu ruang. Ini merupakan parameter penting dalam pengaturan pencahayaan alami dan ventilasi. Rasio ini berpengaruh terhadap kualitas pencahayaan alami di dalam ruangan, memberikan kenyamanan visual, serta berkontribusi terhadap pengurangan penggunaan energi untuk pencahayaan buatan (Kim et al., 2024). Di banyak panduan desain, rasio ini biasanya direkomendasikan untuk berkisar antara 10% hingga 30%, tergantung pada orientasi bangunan dan iklim (Chandra & Purwanto, 2022). Rasio bukaan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan silau yang tidak nyaman bagi penghuninya, sedangkan yang terlalu rendah dapat membuat ruang terasa gelap dan tidak nyaman (Kim et al., 2024).

2.1.2 Indeks Silau

Indeks silau atau *glare index* adalah ukuran yang digunakan untuk menilai efek silau dari sumber cahaya di lingkungan ruangan. Hal ini sangat penting dalam menentukan kenyamanan visual di dalam ruangan. Pengukuran indeks silau dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, salah satunya adalah perhitungan berdasarkan kontras luminance antara sumber cahaya dan latar belakang. Elemen peneduh dan pengaturan desain interior yang baik dapat membantu mengurangi indeks silau dengan memfilter cahaya masuk dan menciptakan distribusi pencahayaan yang lebih merata (Kim et al., 2024).

Tabel 2 Nilai Indeks Kesilauan Maksimum

Jenis Tugas Visual atau Interior dan Pengendalian Silau yang Dibutuhkan	Indeks Kesilauan Maksimum	Contoh Tugas Visual dan Interior
Tugas visual kasar atau tugas yang tidak dilakukan secara terus menerus	28	Perbekalan bahan mentah, pabrik produksi beton, fabrikasi rangka baja, pekerjaan pengelasan.
Pengendalian silau dipedukan secara terbatas	25	Gudang, cold stores, Bangunan turbin dan boiler, toko mesin dan peralatan, plant rooms.
Tugas visual dan Interior Normal	22	Koridor, ruang tangga, penyiapan dan pemasakan makanan, kantin, kafetaria, ruang makan, pemeriksaan dan pengujian (pekerjaan kasar), ruang perakitan, pekerjaan logam lembaran.
Pengendalian silau sangat penting	19	Ruang kelas, perpustakaan (umum), ruang keberangkatan dan ruang tunggu di bandara, pemeriksaan dan pengujian (pekerjaan sedang), lobby, ruangan kantor.
Tugas visual sangat teliti - Pengendalian silau tingkat tinggi sangat dipedukan	16	Industri percetakan, ruang gambar, percetakan, pemeriksaan dan pengujian (pekerjaan teliti).

Sumber : SNI 03-2396-2001

2.1.3 Elemen Peneduh

Elemen peneduh atau *shading devices* adalah komponen arsitektural yang dirancang untuk meminimalkan jumlah sinar matahari langsung yang masuk ke dalam ruang. Hal ini bertujuan untuk mengurangi radiasi panas dan memperbaiki kenyamanan termal (Chandra & Purwanto, 2022). Terdapat beberapa jenis elemen peneduh, seperti



Gambar 1 Foto *overhang* atap

Sumber: Unsplash

a. *Overhangs*

Struktur yang menjulur dari atap atau memanjang melampaui dinding utama, berfungsi untuk menghalangi sinar matahari langsung pada saat matahari berada di posisi tinggi.



Gambar 2 Foto *awning* bermaterial kain

Sumber: Unsplash

b. *Awnings*

Struktur sekunder yang dipasang pada dinding luar bangunan, biasanya di atas jendela, pintu, atau area luar lainnya. Fungsinya adalah memberikan perlindungan dari sinar matahari, hujan, atau angin, sehingga menciptakan area teduh dan nyaman di bawahnya.

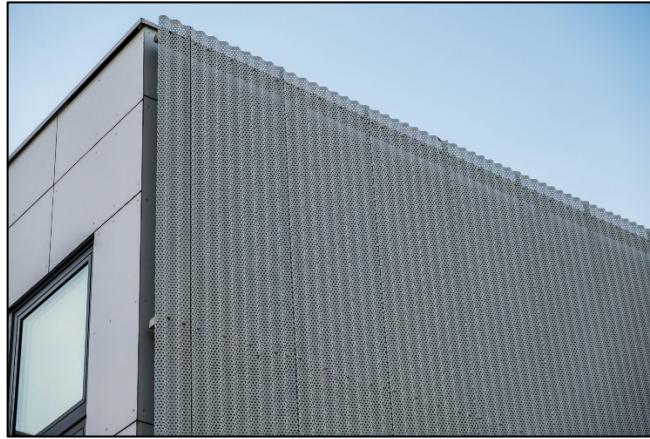


Gambar 3 Foto *louver*

Sumber: Unsplash

c. *Louvers*

Susunan bilah atau kisi-kisi yang dipasang pada pintu, jendela, atau ventilasi. Fungsinya adalah untuk mengatur aliran udara dan cahaya masuk ke dalam ruangan sambil melindungi dari hujan atau sinar matahari langsung.

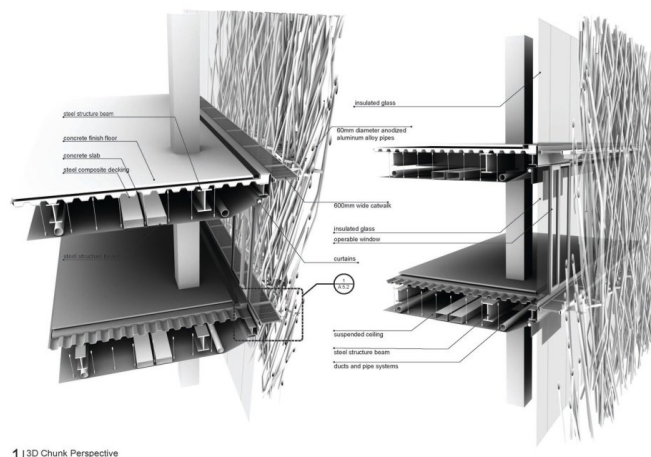


Gambar 4 Foto screen dengan perforated metal

Sumber: Unsplash

d. *Screens*

Juga disebut sebagai secondary skin, adalah lapisan tambahan yang dipasang di luar dinding utama bangunan. Fungsinya meliputi pengendalian cahaya matahari, privasi, dan penambahan elemen estetika pada fasad bangunan.



1 | 3D Chunk Perspective

Gambar 5 Detail potongan isometri secondary skin

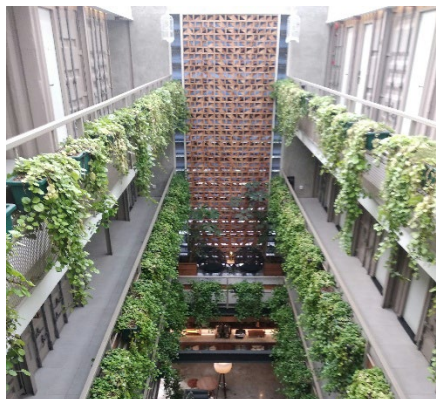
Sumber : en.idei.club

2.1.4 Perangkat Pencahayaan Alami

Perangkat pencahayaan alami (*daylighting devices*) adalah alat atau teknik yang digunakan untuk memaksimalkan penggunaan cahaya alami di dalam bangunan, sehingga mengurangi kebutuhan pencahayaan buatan dan meningkatkan kualitas lingkungan interior (Kim et al., 2024). Terdapat beberapa macam *daylighting devices* berdasarkan kategori diantaranya yaitu,

a. Atrium

Atrium adalah ruang terbuka yang umumnya terletak di dalam bangunan dan dikelilingi oleh dinding bangunan, sering kali dilengkapi dengan atap transparan atau semi-transparan untuk memaksimalkan masuknya cahaya alami (Ghasemi et al., 2016). Atrium berfungsi sebagai sumber cahaya pusat, meningkatkan pencahayaan ke ruang-ruang sekitarnya. Desain atrium yang efektif dengan kombinasi clerestory dapat meningkatkan performa daylighting dengan signifikan, membantu distribusi cahaya yang merata dan mengurangi ketergantungan pada pencahayaan buatan dalam bangunan tinggi (Susa-Páez & Moreno, 2020).



Gambar 6 Contoh penerapan atrium dalam bangunan

Sumber : Unsplash

b. Clerestory

Clerestory adalah jendela tinggi yang biasanya terdapat di bagian atap bangunan, dirancang untuk membiarkan cahaya alami masuk ke dalam ruang di bawahnya. Jendela ini sering kali terletak di atas dinding sebagai bagian dari dinding fasad, memungkinkan cahaya masuk jauh ke dalam ruangan (Ghasemi et al., 2016). Tidak hanya menyediakan pencahayaan tetapi juga membantu meningkatkan ventilasi dan mengurangi penggunaan energi untuk pencahayaan buatan (Djenadic et al., 2015).



Gambar 7 Contoh penerapan *clerestory* di rumah

Sumber : houzz.com

c. Skylights

Skylights adalah jendela atap atau panel transparan yang memungkinkan cahaya alami masuk dari atas. Perangkat ini dapat menambahkan cahaya alami ke dalam ruang yang mungkin tidak memiliki jendela besar, seperti ruang bawah tanah atau lorong. Penggunaan pencahayaan atas dapat dilakukan dengan berbagai teknik

dan desain, seperti skylights yang tetap, skylights yang dapat dibuka, atau sistem yang menggabungkan elemen peneduh untuk mengatur intensitas cahaya yang masuk dan mengurangi silau (Nessim, 2017).



Gambar 8 *Skylight* pada atap

Sumber : Unsplash

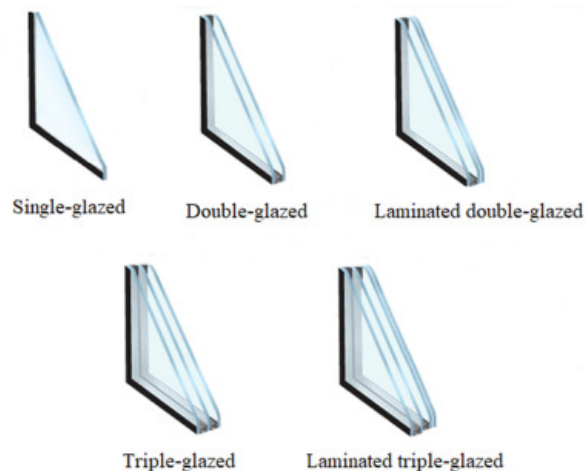
d. Reflective Surfaces

Permukaan reflektif di dalam ruangan digunakan untuk memantulkan cahaya alami ke seluruh ruang, menciptakan pencahayaan yang merata. Permukaan seperti dinding atau langit-langit yang dicat dengan cat reflektif dapat membantu mendistribusikan cahaya yang masuk, sehingga meningkatkan kecerahan di seluruh ruang (Bahdad et al., 2020).

e. Glazing Techniques

Glazing techniques merujuk pada penggunaan berbagai jenis kaca yang dirancang untuk memaksimalkan penetrasi cahaya sambil meminimalkan panas. Kaca Low-E dan laminated glass, misalnya, menawarkan isolasi termal yang baik sekaligus memungkinkan cahaya alami masuk, sementara kaca electrochromic menyediakan kontrol

dinamis terhadap cahaya dan suhu dengan mengubah kegelapan sesuai kebutuhan (Sun et al., 2018). Kaca triple glazing dikenal karena kemampuannya dalam meminimalkan kehilangan panas, menjadikannya pilihan ideal untuk bangunan yang memerlukan efisiensi energi tinggi (M. Liu et al., 2019). Seiring dengan itu, teknik glazing yang melibatkan louvres dan sun shading devices juga berkontribusi pada pengurangan silau dan kontrol pencahayaan, membantu menciptakan lingkungan yang nyaman dan produktif (Secchi et al., 2022). Dengan pendekatan ini, penerapan teknik glazing yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan kinerja energi dan kenyamanan dalam ruang bangunan.



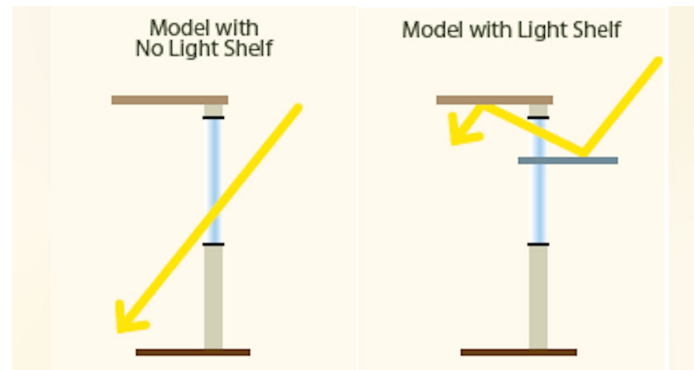
Gambar 9 Contoh penerapan *glazing techniques* dengan beberapa lapisan kaca

Sumber : thearchspace.com

f. Light Shelves

Light shelf adalah struktur horizontal di luar atau dalam jendela yang dirancang untuk memantulkan dan mendistribusikan cahaya alami ke bagian dalam ruang. Light shelves berfungsi untuk meningkatkan penetrasi cahaya ke dalam ruangan serta mengurangi silau dan panas. Dengan memantulkan cahaya ke langit-langit, perangkat ini dapat

menyebarkan cahaya secara merata ke seluruh ruang (Bahdad et al., 2020).



Gambar 10 Efek penerapan *light shelf* pada jendela

Sumber : buildings.com

g. *Light Tubes (Sun Tubes)*

Light tubes adalah sistem pipa reflektif yang membawa cahaya alami dari atap ke dalam ruangan. Perangkat ini digunakan untuk menerangi ruang tanpa mengandalkan jendela besar, cocok untuk area yang sulit dijangkau oleh cahaya langsung. Light tubes sangat efisien dalam memindahkan cahaya tanpa mempengaruhi suhu ruang secara signifikan, membuatnya ideal untuk penggunaan di ruang kecil atau terisolasi (Abimaje et al., 2018).



Gambar 11 detail *light tube* & tampak dari dalam ruang

Sumber : ornotesolar.com

h. Advanced Daylight Control Systems

Sistem kontrol pencahayaan canggih mencakup perangkat yang secara otomatis menyesuaikan posisi dan kecerahan berdasarkan tingkat cahaya yang masuk. Misalnya, sensor cahaya dapat digunakan untuk mengontrol elemen peneduh atau lampu buatan dengan tujuan menjaga tingkat pencahayaan yang konsisten di dalam ruangan. Teknologi ini sering terintegrasi dengan sistem HVAC untuk mencapai efisiensi energi maksimum dan kenyamanan visual bagi penghuni (Cătălina et al., 2019).

2.2 Konsep Redesain dan Retrofit

Redesain dan retrofit merupakan dua pendekatan penting dalam memperbarui bangunan lama agar menjadi lebih fungsional, nyaman, dan efisien. Untuk memahaminya secara sederhana, bayangkan sebuah rumah tua yang masih kokoh secara struktur, namun sudah tidak memenuhi kebutuhan atau standar kenyamanan masa kini. Daripada membangun ulang dari awal yang memakan biaya besar, rumah tersebut bisa diperbaiki melalui pendekatan redesign dan retrofitting.

Redesain adalah proses mengubah atau menyusun ulang tampilan dan fungsi bangunan. Contohnya, memindahkan posisi dinding untuk memperbesar ruang keluarga, mengganti tampilan fasad agar terlihat lebih modern, atau menyesuaikan tata letak ruang agar lebih fleksibel untuk aktivitas kerja dan tinggal. Redesain bisa bersifat parsial seperti hanya bagian dalam saja (interior), atau menyeluruh hingga mencakup fasad, atap, dan sirkulasi ruang.

Retrofit, di sisi lain, berfokus pada peningkatan teknis bangunan tanpa mengubah bentuk atau tampilan secara drastis. Misalnya dengan menambahkan insulasi panas di atap, mengganti kaca jendela menjadi jenis *low-e* (*low emissivity*) agar lebih hemat energi, menambah sistem ventilasi silang, atau memasang elemen pasif seperti light

shelf dan shading untuk memaksimalkan cahaya alami. Bentuk retrofit bisa dibedakan menjadi beberapa kategori: termal (pengendalian suhu), struktural (memperkuat bangunan), sistem MEP (listrik dan pipa), dan pencahayaan alami.

Kedua metode ini sering digunakan secara bersamaan. Redesain memberikan kerangka baru yang lebih relevan dengan kebutuhan pengguna, sementara retrofitting meningkatkan efisiensi energi dan performa bangunan. Keduanya adalah solusi cerdas untuk memperpanjang umur bangunan, mengurangi limbah konstruksi, serta mendukung prinsip arsitektur berkelanjutan (Ma et al., 2012).

Beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa retrofitting semakin menjadi pilihan utama karena banyak bangunan lama kini tidak lagi memenuhi standar efisiensi energi dan kenyamanan (Ghosh et al., 2021; X. Liu et al., 2022).

Selain aspek teknis, pendekatan ini juga mampu memberikan manfaat tambahan berupa peningkatan estetika dan kenyamanan visual yang sesuai dengan kebutuhan penghuni masa kini. Studi lain juga menunjukkan bahwa elemen pasif seperti shading dapat secara efektif menurunkan suhu interior, dan penerapan strategi retrofit di Indonesia mampu meningkatkan kenyamanan termal hingga 25% (Nugroho & Widyowijatnoko, 2019; Santamouris et al., 2021). Hal ini semakin mempertegas bahwa pendekatan retrofitting bukan hanya solusi teknis semata, tetapi juga memiliki nilai praktis yang nyata dalam meningkatkan kualitas hidup di dalam bangunan.

2.3 BIM 5D dan Penerapannya

Building Information Modeling (BIM) merupakan teknologi digital yang kini menjadi fondasi dalam industri konstruksi modern, mencakup perencanaan, desain, konstruksi, hingga pengelolaan bangunan. BIM memungkinkan visualisasi digital bangunan secara lengkap dan detail, mencakup aspek geometris, material, hingga jadwal pelaksanaan. Ada beberapa tingkatan dalam BIM yang mencerminkan seberapa dalam informasi yang disertakan, yaitu mulai dari BIM 2D, 3D, 4D, hingga 5D.

Pada tahap dasar, BIM 2D menyediakan gambar dua dimensi seperti denah,

tampak, dan potongan, yang umumnya digunakan dalam dokumentasi proyek. BIM 3D memperkenalkan representasi tiga dimensi yang lebih intuitif dan detail tentang geometri dan material bangunan. Selanjutnya, BIM 4D menambahkan elemen waktu ke dalam model, memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan urutan pelaksanaan proyek secara lebih akurat. Sedangkan BIM 5D mengintegrasikan estimasi biaya secara detail, menjadikan proses perancangan lebih lengkap dengan perkiraan anggaran yang tepat dan dinamis (Azhar et al., 2015).

Dalam konteks simulasi pencahayaan alami dan retrofitting, penerapan BIM menawarkan keuntungan signifikan dalam membuat analisis pencahayaan menjadi lebih detail dan presisi. Dengan BIM, simulasi interaksi cahaya alami dengan bangunan dapat dilakukan berdasarkan parameter nyata seperti posisi geografis, orientasi bangunan, dan kondisi iklim setempat. Penelitian lain menunjukkan bahwa integrasi BIM dengan perangkat lunak simulasi membantu tim proyek dalam pengambilan keputusan desain yang optimal sebelum pelaksanaan konstruksi fisik (Marzouk et al., 2021).

Di Indonesia sendiri, penerapan BIM untuk retrofit juga mulai populer karena mampu menyederhanakan proses desain sekaligus meningkatkan akurasi perencanaan biaya dan waktu. Penerapan BIM di Indonesia juga menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam efisiensi waktu dan ketepatan anggaran pada proyek retrofit dan redesain (Andriani et al., 2021; Yulianto et al., 2020). Ini semakin menggarisbawahi pentingnya peran BIM dalam proyek-proyek retrofit dan redesain, terutama dalam kondisi iklim tropis yang menuntut pendekatan desain yang cermat dan efisien.

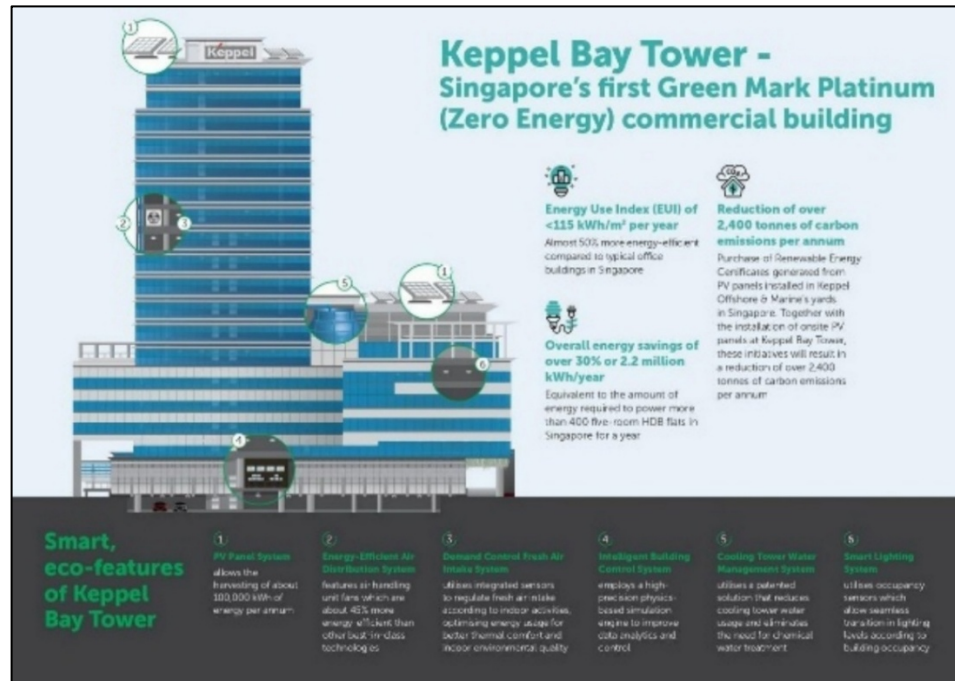
2.4 Objek Tinjauan



Gambar 12 Foto Gedung Keppel Bay Tower

Sumber: keppel.com

Keppel Bay Tower adalah gedung perkantoran kelas A yang terletak di 1 HarbourFront Avenue, Singapura. Bangunan ini terdiri dari menara setinggi 18 lantai dan podium enam lantai, dengan luas lantai kotor sekitar 35.860 m². Dibangun pada tahun 2002, gedung ini berfungsi sebagai kantor pusat Keppel Ltd. dan menampung berbagai penyewa dari sektor properti dan infrastruktur. Lokasinya yang strategis di kawasan HarbourFront memberikan akses mudah ke transportasi umum, termasuk stasiun MRT HarbourFront, serta kedekatan dengan pusat perbelanjaan seperti VivoCity dan HarbourFront Centre. Keppel Bay Tower menawarkan berbagai fasilitas modern, termasuk sistem lantai raised floor untuk fleksibilitas tata ruang, jendela kaca penuh yang memberikan pemandangan laut dan kota, serta area parkir yang memadai.



Gambar 13 Infografis Retrofit pada KBT

Sumber: keppel.com

Sebelum dilakukan redesain, bangunan tersebut menggunakan sistem pencahayaan konvensional yang belum terintegrasi dengan sensor pencahayaan alami, serta sistem sirkulasi udara yang masih mengandalkan pengaturan manual. Mulai tahun 2017, gedung ini menjalani proyek *deep retrofitting* yang mencakup penerapan sistem pencahayaan cerdas berbasis sensor gerak dan cahaya alami, penggantian kipas sentrifugal dengan sistem aksial efisiensi tinggi, serta pemasangan panel surya di atap. Salah satu inovasi kuncinya adalah sistem *smart lighting* yang mampu mengurangi konsumsi energi pencahayaan hingga 70% (Reuters, 2024). Pasca-retrofitting, Keppel Bay Tower diakui sebagai gedung komersial pertama di Singapura yang memperoleh sertifikasi Green Mark Platinum Zero Energy dari Building and Construction Authority (BCA) pada tahun 2020 (BCA, 2020). Transformasi ini menunjukkan bahwa *retrofitting daylighting* tidak hanya memperpanjang usia bangunan, tetapi juga meningkatkan kenyamanan visual serta mendukung agenda keberlanjutan perkotaan secara nyata.