



## ANALISIS PENCAHAYAAN ALAMI PADA RUANG KELAS BANGUNAN CAGAR BUDAYA DI BANDUNG MENGGUNAKAN VELUX

Nur Laela Latifah<sup>1</sup>, Erwin Yuniar Rahadian<sup>2</sup>, Novrizal Primayudha<sup>3</sup>

Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia<sup>1,2</sup>

Program Studi Desain Interior, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia<sup>3</sup>

E-mail: [ela@itenas.ac.id](mailto:ela@itenas.ac.id), [ears@itenas.ac.id](mailto:ears@itenas.ac.id), [novrizalprimayudha@itenas.ac.id](mailto:novrizalprimayudha@itenas.ac.id)

### Informasi Naskah:

Diterima:

7 Juli 2025

Direvisi:

15 Oktober 2025

Disetujui terbit:

2 November 2025

Diterbitkan:

Cetak:

29 Desember 2025

Online

29 Desember 2025

**Abstract:** *Currently, energy conservation has become one of the critical issues in architectural design. One approach to support this is by optimizing the potential of natural lighting to reduce the use of electrical energy for artificial lighting. For this reason, the design of light openings on facades must be accurate to ensure that the illuminance levels meet the standard requirements. The research object focuses on several classrooms in SMAN 5 Bandung. The issue identified is that, with the existing light opening design, only certain areas of the room meet the illuminance standards for classrooms, necessitating constant use of artificial lighting. Given its status as a Class A heritage building, physical alterations to the facade (redesigning light openings) are not permissible. Therefore, alternative efforts are required, such as modifying the color of interior materials to enhance light reflection, thereby improving the room's illuminance levels. The analysis was conducted using a quantitative comparative method, based on field measurement results and natural lighting simulations performed with the Velux Daylight Visualizer 3 software on 3D models, both in their existing condition and the proposed modifications. The purpose of this research is to understand the distribution of natural lighting and achieve increased illuminance levels in accordance with visual task requirements. The findings indicate that increasing the reflectance of ceiling and wall materials can result in an average improvement in classroom illuminance levels of 35.59 lux, 46.11 lux, and 90.25 lux, respectively. Through this research, it is expected to provide solutions to support energy efficiency in buildings without compromising the visual comfort of the occupants.*

**Keyword:** *Energy Efficiency, Sustainability, Visual Comfort*

**Abstrak:** Saat ini konservasi energi telah merupakan salah satu isu penting dalam desain arsitektur. Salah satu wujud untuk mendukungnya adalah optimalisasi potensi cahaya alami, sehingga mengurangi penggunaan energi listrik untuk penerangan buatan. Untuk itu desain bukaan cahaya pada fasad harus tepat agar kuat penerangan dapat memenuhi standar. Sebagai objek penelitian adalah beberapa ruang kelas di SMAN 5 Bandung. Permasalahan yang dijumpai adalah dengan desain bukaan cahaya yang ada, hanya sebagian area ruang yang kuat penerangannya sesuai standar ruang kelas sehingga harus selalu menyalakan lampu. Dengan statusnya yang merupakan bangunan cagar budaya kelas A, maka tidak dapat dilakukan perubahan tampilan fisik pada fasad (desain ulang bukaan cahaya), sehingga diperlukan usaha antara lain perubahan warna material interior untuk meningkatkan efek pantulan cahaya yang berdampak meningkatkan kuat penerangan dalam ruang. Metode analisis dilakukan secara kuantitatif komparatif, berdasarkan hasil pengukuran lapangan serta simulasi cahaya alami menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 pada model 3 dimensi baik dalam kondisi eksisting maupun kondisi usulan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh gambaran distribusi cahaya alami dan peningkatan kuat penerangan sesuai kebutuhan kerja visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa melalui peningkatan reflektansi material pada plafon dan dinding dapat diperoleh rata-rata peningkatan kuat penerangan pada ruang-ruang kelas tersebut masing-masing sebesar 35,59 lux, 46,11 lux, dan 90,25 lux. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh solusi untuk mendukung hemat energi pada bangunan tanpa mengorbankan kenyamanan visual pengguna.

**Kata Kunci:** Hemat Energi, Pencahayaan Alami, Kenyamanan Visual

### PENDAHULUAN

Pencahayaan alami merupakan hal yang perlu diterapkan pada bangunan dimana menjadi langkah awal untuk penghematan energi (Pinem et al., 2022). Salah satu desain bangunan yang membutuhkan pencahayaan alami adalah sekolah. Pada bangunan

sekolah biaya operasionalnya bersumber dari pemerintah dan masyarakat maka penghematan energi akan berdampak positif bagi banyak pihak (Idrus et al., 2019). Sebagai kasus yang diangkat pada penelitian ini adalah ruang Kelas XII-B, Kelas XII-D, dan Kelas XII-E pada bangunan SMAN 5 yang

merupakan bagian dari SMA Belitung di Bandung dimana ruang-ruang tersebut memiliki permasalahan terkait perolehan kuat penerangan yang mendukung kenyamanan visual.

Berdasarkan foto-foto hasil pengamatan lapangan yang dilakukan tahun 2022 terkait pemeliharaan dan perawatan di SMA Belitung termasuk ruang-ruang kelas di antaranya Kelas XIIB (Latifah, Subekti, et al., 2023), terlihat ruang-ruang kelas pada bangunan eksisting massa utama memiliki jendela-jendela cukup besar dan tinggi, pencahayaannya mengandalkan cahaya alami, tetapi kurang terang dan hanya dibantu 4 buah lampu TL. Penelitian berikutnya tahun 2023 pada beberapa ruang kelas di SMAN 5 yaitu Kelas XII-B, Kelas XII-D, dan Kelas XII-E tentang kenyamanan visual memberikan informasi hasil pengukuran lapangan menggunakan luxmeter bahwa kuat penerangan yang diperoleh masih belum memenuhi standar terkait fungsi ruang untuk kegiatan belajar siswa (Latifah, Handika, et al., 2023).

Penelitian-penelitian terkait usaha peningkatan kuat penerangan dalam ruang telah dilakukan menggunakan *software* simulasi komputer. Gusti mengusulkan penyesuaian *Window to Wall Ratio* sesuai kebutuhan jenis ruang rawat inap di rumah sakit dengan simulasi menggunakan Ecotect Analysis (Gusti, 2019). Latifah dkk. menjelaskan perbaikan kuat penerangan pada ruang di tengah bangunan Gedung Negara Cirebon dengan mengganti warna furnitur menjadi lebih muda dan pemantulan cahaya menggunakan cermin melalui simulasi menggunakan DIALux evo (Latifah et al., 2021). Ismajaya dan Jamala melakukan perubahan desain *light shelf* pada model 3 dimensi gedung perpustakaan melalui simulasi menggunakan Autodesk Ecotect dengan *plugin* Desktop Radiance (Ismajaya & Jamala, 2023). Agar kuat penerangan pada area duduk suatu pujasera sesuai standar, Halim dan Pangestu mengusulkan integrasi cahaya alami dan buatan dimana jenis lampu diganti lebih efisien dan layout titik pasangannya diperbaiki melalui simulasi menggunakan DIALux Light Wizard, Curic Sun, dan DIALux evo (Halim & Pangestu, 2023). Sedangkan Azizah dkk. mengusulkan agar cahaya alami dapat dimanfaatkan dengan optimal pada ruang tamu suatu hunian maka harus diperhatikan orientasi bangunan serta dimensi dan posisi bukaan dengan simulasi menggunakan DIALux evo (Azizah et al., 2024).

Pada penelitian ini akan dikaji bagaimana pencahayaan alami pada Kelas XII-B, Kelas XII-D, dan Kelas XII-E SMAN 5 menggunakan simulasi komputer Velux Daylight Visualizer 3, sebagai lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan (Latifah, Handika, et al., 2023). Ruang-ruang kelas ini mewakili semua ruang kelas pada lantai massa bangunan utama dari SMAN 5 yang mengalami masalah terkait kenyamanan visual dimana kuat penerangan yang diperoleh masih di bawah standar. Berbeda dengan penelitian-penelitian yang telah disebutkan di atas, dengan status kasus bangunan sebagai cagar budaya Kelas A maka

usaha peningkatan kuat penerangan di dalam ruang dilakukan dengan tidak merubah tampilan fisik fasad dimana tidak ada perubahan dimensi dan posisi bukaan maupun penggantian jenis kaca. Usaha yang dapat dilakukan adalah perubahan pada interior yaitu peningkatan reflektansi material melalui perubahan warna permukaan yang dibatasi hanya pada dinding dan level bidang kerja (permukaan meja siswa) karena material lantai tidak boleh diganti, dengan simulasi menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 (model 3 dimensi dibuat menggunakan ArchiCAD 26). Tujuan penelitian ini adalah diperoleh gambaran distribusi cahaya dan peningkatan perolehan kuat penerangan pada bidang kerja tersebut. Diharapkan melalui simulasi Velux tersebut dapat diperoleh informasi solusi permasalahan sehingga pengguna ruang dapat memperoleh kenyamanan visual terkait kuat penerangan, serta dapat diperoleh penghematan energi dari operasional penerangan buatan.

## TINJUAN PUSTAKA

### Pentingnya Penghematan Energi

Berdasarkan berbagai referensi penggunaan energi listrik untuk penerangan buatan dapat mencapai 19% dari seluruh konsumsi pada suatu bangunan (Selim et al., 2020). Penerangan buatan adalah salah satu dari sistem lainnya yang mengkonsumsi energi pada bangunan di samping sistem pengkondisian udara/ AC dan alat-alat elektronik lainnya. Dengan kondisi bangunan tidak menggunakan AC maka angka persentase konsumsi energi oleh penerangan buatan ini akan meningkat signifikan menjadi paling dominan, maka sangat penting bila melakukan optimalisasi cahaya alami untuk penerangan ruangan.

### Definisi dan Manfaat Pencahayaan Alami

Cahaya alami adalah cahaya bersumber dari sinar matahari atau cahaya langit, yang intensitasnya berfluktuasi tergantung waktu, lokasi, dan musim (Ibrahim & Diana Susilowati, 2023). Cahaya alami yang diterima di bidang kerja selain bersumber langsung dari sinar matahari dan emisi dari langit, juga hasil pantulan dari benda-benda baik di luar maupun di dalam bangunan/ ruang yang menerima cahaya langsung tersebut. Kinerja penerangan alami yang baik selain mendukung kesehatan fisik dan mental, juga berperan dalam efisiensi dan penghematan energi (Jia et al., 2023). Cahaya alami selain meningkatkan produktivitas kerja, kenyamanan, juga penghematan energi, hal ini dipengaruhi faktor bukaan cahaya dan kondisi cahaya langit (Fakhr et al., 2023). Saat cuaca cerah intensitas cahaya matahari dan cahaya langit akan optimal sebaliknya saat cuaca berawan bahkan mendung dan hujan maka intensitas cahaya matahari dan cahaya langit akan turun signifikan. Pengguna bangunan merasakan manfaat cahaya alami karena memperoleh kenyamanan visual sehingga memudahkan dalam melakukan pekerjaan (Jannah, 2022). Manfaat ini akan diperoleh optimal bila penerimaan intensitas cahaya langsung dari matahari dan langit juga optimal.

## **Pencahayaan Alami Untuk Kenyamanan Visual**

Di dalam ruang kelas siswa dan guru melakukan kegiatan belajar-mengajar sehingga ruangan tersebut merupakan sarana penting dan harus diperhatikan pencahayaannya agar berkualitas baik dan memberikan kenyamanan visual bagi pengguna (Geng et al., 2022). Kualitas pencahayaan yang baik di sekolah dapat diperoleh dengan cara mengoptimalkan cahaya alami (Lestari et al., 2024). Kenyamanan visual ditentukan beberapa faktor yaitu kuat penerangan/ tingkat pencahayaan, kualitas warna, tingkat penyilauan, juga jarak pandang pengamat terhadap obyek (Adji, 2022). Penerangan dalam ruang tidak boleh kurang karena berdampak terjadinya rabun jauh juga tidak boleh berlebihan karena mengakibatkan efek silau (Putra et al., 2021). Setiap ruang memiliki kebutuhan intensitas cahaya masing-masing sesuai aktivitas pengguna (Wahyuni et al., 2023). Pada penerapan pencahayaan alami yang baik, penerimaan kuat penerangan yang bersumber dari cahaya alami harus cukup sesuai kebutuhan kerja visual mata yang berlangsung, tidak terlalu rendah dan tidak terlalu tinggi, juga terukur memenuhi standar yang berlaku. Berdasarkan standar, agar diperoleh kenyamanan visual pada ruang kelas dengan kerja visual mata untuk kegiatan belajar dibutuhkan kuat penerangan minimal 350 lux (SNI 03-6197: 2020 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan, 2020).

### **Faktor-faktor yang mempengaruhi Penerangan dari Pencahayaan Alami**

Terdapat beberapa faktor terkait penggunaan cahaya alami pada bangunan yaitu lokasi geografis, fluktuasi intensitas cahaya matahari, distribusi cahaya, pemantulan cahaya, jarak dengan bangunan di sekitarnya, dan fungsi bangunan tersebut (Adji, 2022). Daerah khatulistiwa dengan lintang rendah menerima paparan radiasi matahari dengan rata-rata intensitas yang lebih tinggi dari daerah dengan lintang lebih tinggi. Penerimaan cahaya langsung dari matahari dan langit di dalam ruang akan lebih merata bila cahaya terdistribusi dan terpantul dengan baik, juga tidak terhalang objek-objek di sekitar bukaan dan bangunan.

Referensi lain menyebutkan faktor-faktor terkait pencahayaan alami untuk kenyamanan visual dalam ruang mencakup orientasi bangunan dan bukaan, dimensi dan posisi bukaan, dimensi dan kedalaman ruang, tingkat transparansi bukaan, dan reflektansi material (Latifah et al., 2021). Rasio kedalaman ruang (D) terhadap tinggi ambang atas bukaan (H) dinyatakan baik bila kurang dari 2,5 dan sangat baik bila kurang dari 1,5 (Latifah et al., 2021). Untuk mengoptimalkan cahaya alami, beberapa faktor desain arsitektur pada fasad yang harus diperhatikan yaitu orientasi bangunan, penggunaan dinding fasad transparan *curtain wall* dan penggunaan material transparan, serta pemilihan jenis *shading device* sirip vertikal daripada sirip horizontal (Ariestadi et al., 2023). Luas bukaan cahaya pada fasad yang

dibutuhkan adalah minimal  $1/6$  atau 0,1667 luas ruang (Adji, 2022). Lokasi bukaan berpengaruh terhadap perolehan kuat penerangan, dimana sebuah bukaan di tengah dinding menghasilkan kuat penerangan lebih tinggi dibandingkan dua buah bukaan dengan luas total yang sama tetapi alokasinya tidak di tengah dinding (Prasetyo et al., 2022). Orientasi dan perbedaan elevasi lantai mempengaruhi perolehan intensitas cahaya yang beragam di dalam ruang kelas (Fernandes & Regnier, 2023). Semua pernyataan di atas mengindikasikan bahwa orientasi bukaan pada bangunan, desain bukaan pada fasad, rasio luas bukaan terhadap luas ruang, tinggi bukaan dari lantai, rasio kedalaman ruang terhadap tinggi ambang atas bukaan, keberadaan objek pembayang, dan reflektansi material interior secara signifikan mempengaruhi perolehan kuat penerangan pada bidang kerja.

Desain interior yang memperhatikan konsep natural tropikal mendukung penghematan energi karena mengutamakan pencahayaan alami untuk penerangan ruangan (Rusmaharani & Setiabudi, 2024), dimana kuat penerangan dipengaruhi material yang digunakan. Intensitas cahaya alami ditentukan oleh kemampuan refleksi material interior, dimana tekstur kasar akan mendifraksi cahaya dan warna gelap akan menyerap cahaya sehingga menurunkan perolehan intensitas (Purnama et al., 2023). Agar diperoleh pencahayaan ruang yang lebih baik maka diperlukan pemantulan cahaya dan penyebaran cahaya yang merata oleh material dengan warna tertentu yang berdaya pantul tinggi sehingga dapat meningkatkan level pencahayaan secara signifikan (Ren & Su, 2021). Pemilihan warna yang tepat menjadi kunci, dimana warna cerah seperti putih, krem, atau pastel dapat mengoptimalkan efek pantulan cahaya tersebut, sedangkan sebaliknya warna gelap cenderung menyerap lebih banyak cahaya sehingga mengurangi jumlah penerimaan cahaya alami di bidang kerja (Alayan & Majeed, 2023). Maka dalam penelitian untuk peningkatan kuat penerangan perlu dilakukan penentuan nilai reflektansi material yang tepat agar dengan efek pantulan cahaya dari langit dapat terdistribusi semerata mungkin tanpa menimbulkan silau. *Light Reflectance Value* (LRV) atau angka kemampuan memantulkan cahaya tergantung warna dan jenis material, dimana kondisi ideal dalam ruang untuk langit-langit/ plafon 60%-90%, dinding 35%-60%, dan permukaan meja 30%-50% (Enviro-Systems & Luca, n.d.).

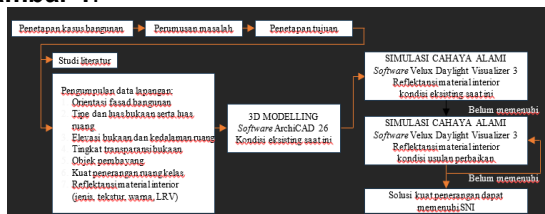
### **Tujuan Simulasi dan Analisis Pencahayaan Alami**

Tujuan melakukan simulasi pencahayaan alami adalah untuk memperoleh gambaran kinerja pencahayaan alami dalam ruang (Ariestadi et al., 2023) yang diperlukan dalam analisis. Pada analisis cahaya alami harus diperhatikan distribusi cahaya yang terjadi di dalam ruang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ibhaddode dkk. dengan kasus sekolah dasar dan menengah di Nigeria, ternyata meja di sekitar bukaan cahaya memperoleh cahaya terlalu

besar (mulai 1.243 lux hingga 4.486 lux), sebaliknya meja di tengah ruang tidak memperoleh cahaya yang cukup (berkisar hanya 101 lux hingga 449 lux) (Ibhadode et al., 2019). Maka pada analisis hasil simulasi bukan hanya berdasarkan nilai rata-rata kuat penerangan saja tetapi juga harus diperhatikan distribusi kuat penerangan yang terjadi apakah seluruh area pada bidang kerja memenuhi standar.

### METODOLOGI PENELITIAN

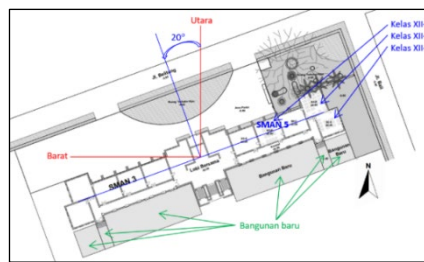
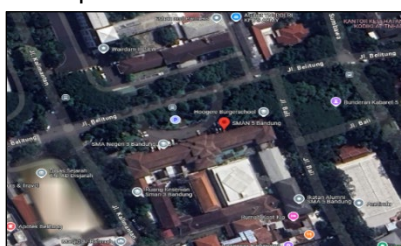
Pada penelitian dengan kasus ruang kelas di bangunan cagar budaya ini dilakukan analisis pencahayaan alami menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3, pada model 3 dimensi baik kondisi asli maupun usulan perbaikan. Model 3 dimensi tersebut dibuat menggunakan ArchiCAD 26. Metoda analisis penelitian dilakukan melalui pendekatan lebih ke arah kuantitatif berdasarkan komparasi antara kondisi reflektansi eksisting dan kondisi reflektansi usulan. Berikut langkah kerja dan lingkup variabel penelitian yang disajikan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Bagan Metode Penelitian (Sumber: Penulis, 2024)

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Orientasi Fasad Bangunan

SMAN 5 Bandung berada di area kanan tapak SMA Belitung. Fasad depan massa bangunan utama SMAN 5 menghadap ke arah Jl. Belitung dengan kemiringan 20° dari arah Utara ke Barat Laut. Di sebelah kanan atau sisi Timur tapak terdapat Jl. Bali dimana terdapat *main entrance* siswa SMAN 5. Fasad ruang Kelas XII-B merupakan bagian fasad depan massa bangunan utama maka cenderung menghadap ke Utara, fasad ruang Kelas XII-D yang berada di ujung kanan massa tersebut cenderung menghadap ke Utara dan Timur, sedangkan fasad ruang Kelas XII-E yang di belakangnya cenderung menghadap ke Timur dan Selatan. Lihat **Gambar 2**. Dengan orientasi fasad tidak menghadap Timur-Barat maka cahaya alami yang masuk ke dalam ruang kelas lebih berasal dari cahaya langit, tetapi bila menghadap Timur maka masih terdapat potensi juga memperoleh cahaya langsung dari matahari selama sudut sinarnya memungkinkan tidak terhalang objek pembayang berupa atap maupun bangunan sekitar tapak, sehingga kuat penerangan yang terukur dapat lebih besar.



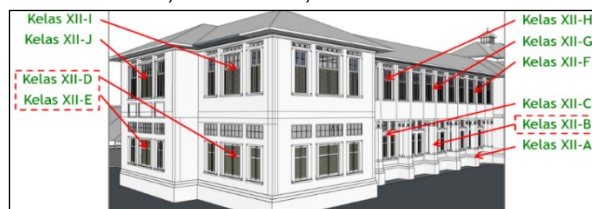
**Gambar 2** Atas: Orientasi SMA Belitung; Kanan: Orientasi SMAN 5 Bandung

Sumber: Google Maps, 2024, Bawah: (Latifah, Handika, et al., 2023)

### Tipe dan Luas Bukaannya serta Luas Ruang

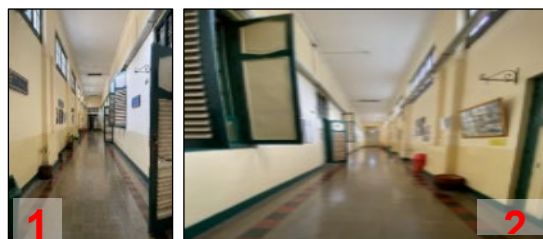
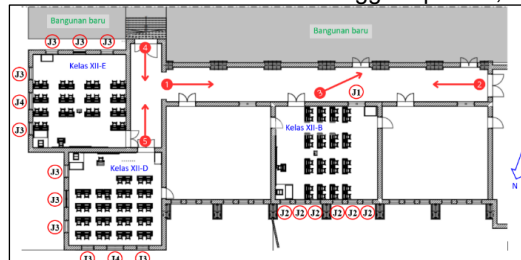
Terdapat 4 tipe bukaan pada ruang-ruang kelas yang diamati yaitu J1, J2, J3, dan J4. Pada dinding bagian atas ruang koridor Kelas XII-A sampai Kelas XII-C terdapat bukaan tetapi pada dinding kelas-kelas tersebut sisi koridor masing-masing hanya terdapat satu bukaan J1 sehingga tidak dapat mendukung perolehan cahaya dengan optimal. Dengan statusnya sebagai bangunan cagar budaya Golongan A, maka tampilan fasad termasuk tampilan bukaan tersebut tidak dapat diubah.

Lihat **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4**.



**Gambar 3** Fasad Fasad Depan dan Samping Kanan Massa Bangunan Utama SMAN 5 Bandung

(Sumber: Gosha Muhammad dan Eggi Septianto, diolah)

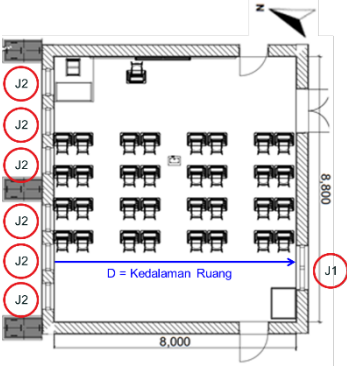


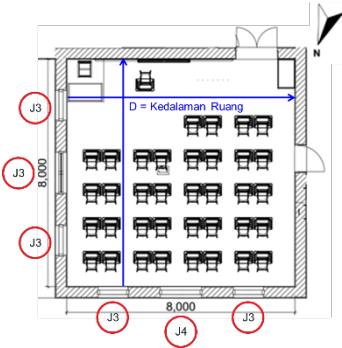
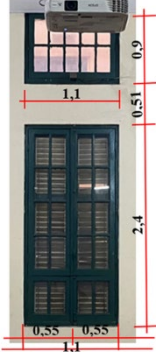

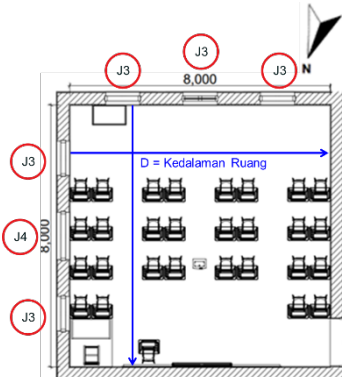
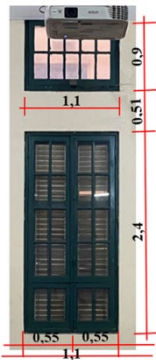
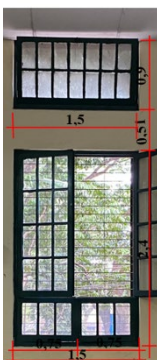


**Gambar 4** Key Plan Tipe Bukaan dan Suasana Koridor (Sumber: (Latifah, Handika, et al., 2023), diolah)

Luas bukaan dihitung termasuk kusen (untuk kemudahan pengukuran), dan luas ruang dihitung dengan jarak bersih antar permukaan dinding dalam. J2, J3, dan J4 terdiri atas bukaan atas sebagai lubang angin menggunakan kaca putih susu (*back painted glass*) dan bukaan bawah menggunakan kaca bening. Perhitungan luas tidak termasuk semua bukaan atas karena *back painted glass* tidak optimal

dalam meneruskan cahaya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio luas seluruh bukaan terhadap luas ruang  $\geq 0,1667$  maka total luas bukaan sebenarnya telah memenuhi untuk mendukung perolehan cahaya alami dan kuat penerangan. Lihat **Tabel 1**.

**Tabel 1** Analisis Luas Bukaan Terhadap Luas Ruang

| Denah Kelas XII-B   | Tampak Interior J1  | Tampak Interior J2  | Perhitungan Luas J1 dan J2   |
|---|---|---|--|
|    |    |    | <p>Luas J1<br/> <math>= 1,5 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}</math><br/> <math>= 3,60 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas J2<br/> <math>= 0,9 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}</math><br/> <math>= 2,16 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas J1 + <math>\Sigma</math>J2<br/> <math>= 3,60 \text{ m}^2 + (6 \times 2,16 \text{ m}^2)</math><br/> <math>= 16,56 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas ruang<br/> <math>= 8,80 \text{ m} \times 8,00 \text{ m}</math><br/> <math>= 70,40 \text{ m}^2</math></p> <p>Rasio luas bukaan : luas ruang<br/> <math>= 16,56/70,40</math><br/> <math>= 0,2352</math>, memenuhi <math>\geq 0,1667</math></p> |
| Denah Kelas XII-D   | Tampak Interior J3  | Tampak Interior J4  | Perhitungan Luas J3 dan J4   |
|   |   |   | <p>Luas J3<br/> <math>= 1,1 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}</math><br/> <math>= 2,64 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas J4<br/> <math>= 1,5 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}</math><br/> <math>= 3,60 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas <math>\Sigma</math>J3 + J4<br/> <math>= (5 \times 2,64 \text{ m}^2) + 3,60 \text{ m}^2</math><br/> <math>= 16,80 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas ruang<br/> <math>= 8,00 \text{ m} \times 8,00 \text{ m}</math><br/> <math>= 64,00 \text{ m}^2</math></p> <p>Rasio luas bukaan : luas ruang<br/> <math>= 16,80/64,00</math><br/> <math>= 0,2625</math>, memenuhi <math>\geq 0,1667</math></p> |
| Denah Kelas XII-E   | Tampak Interior J3  | Tampak Interior J4  | Perhitungan Luas J3 dan J4   |
|  |  |  | <p>Luas J3<br/> <math>= 1,1 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}</math><br/> <math>= 2,64 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas J4<br/> <math>= 1,5 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}</math><br/> <math>= 3,60 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas <math>\Sigma</math>J3 + J4<br/> <math>= (5 \times 2,64 \text{ m}^2) + 3,60 \text{ m}^2</math><br/> <math>= 16,80 \text{ m}^2</math></p> <p>Luas ruang<br/> <math>= 8,00 \text{ m} \times 8,00 \text{ m}</math><br/> <math>= 64,00 \text{ m}^2</math></p> <p>Rasio luas bukaan : luas ruang<br/> <math>= 16,80/64,00</math><br/> <math>= 0,2625</math>, memenuhi <math>\geq 0,1667</math></p> |

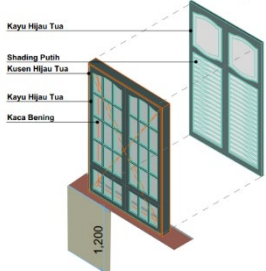
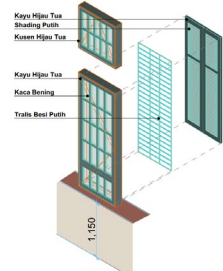
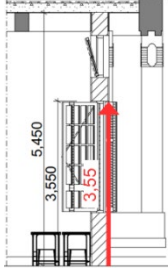
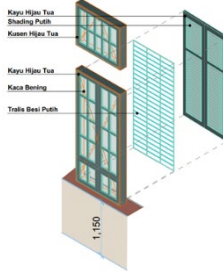
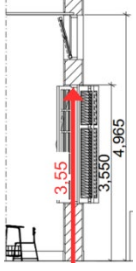
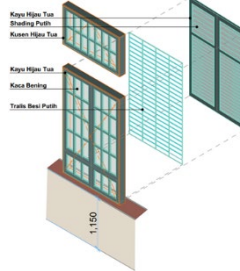
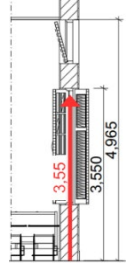
Sumber: (Latifah, Handika, et al., 2023),diolah

## Elevasi Ambang Bukaan dan Kedalaman Ruang

Bukaan J1 serta bukaan bawah J2, J3, dan J4 memiliki daun jendela ganda yaitu daun jendela luar berupa kisi-kisi kayu dan daun jendela dalam/ interior menggunakan kaca bening. Elevasi ambang bawah bukaan J1 setinggi 1,20 m sedangkan bukaan J2, J3, dan J4 setinggi 1,15 m dihitung dari permukaan lantai interior. Elevasi ambang atas (H) pada bukaan J1 setinggi 3,60 m sedangkan pada bukaan J2, J3,

dan J4 setinggi 3,55 m juga dihitung dari permukaan lantai interior. Pengukuran elevasi ambang atas bukaan tidak termasuk bukaan atas J2, J3, dan J4 karena *back painted glass* bukaan tersebut tidak optimal dalam meneruskan cahaya seperti kaca bening. Lihat **Tabel 2**. Dimensi/ kedalaman ruang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kedalaman ruang yang terukur hingga 8,00 m telah memenuhi tidak melebihi 2,5H atau 8,875 m maka mendukung perolehan cahaya alami dan kuat penerangan.

**Tabel 2** Analisis Elevasi Bukaan dan Kedalaman Ruang

| Bukaan J1 Kelas XII-B  | Bukaan J2 Kelas XII-B  | Potongan J2   | Perhitungan J2  |
|--|--|---|---|
|   |   |   | <p>Elevasi ambang atas<br/>= H = 3,55 m</p> <p>Kedalaman ruang maksimal<br/>= D = 2,5H<br/>= 2,5 x 3,55 m<br/>= 8,875 m</p> <p>Kedalaman ruang terukur<br/>= 8,00 m, memenuhi<br/>karena &lt; 8,875 m</p> |
| Bukaan J3 Kelas XII-D & XII-E  | Potongan J3  | Bukaan J4 Kelas XII-D & XII-E   | Potongan J4   |
|    |  |  |   |
| <p>Perhitungan J3 dan J4</p> <p>Elevasi ambang atas = H = 3,55 m</p> <p>Kedalaman ruang maksimal = D = 2,5H = 2,5 x 3,55 m = 8,875 m</p> <p>Kedalaman ruang terukur = 8,00 m, memenuhi karena &lt; 8,875 m</p> |  |   |   |

## Tingkat Transparasi Bukaan

Kaca pada bukaan J1 serta pada bukaan bawah J2, J3, dan J4 adalah jenis kaca bening (*clear glass*) yang didesain tidak memiliki kemampuan khusus dalam mereduksi transmisi energi panas termasuk energi cahaya matahari, sehingga perolehan kuat penerangan dalam ruang saat daun jendela kaca dalam kondisi tertutup tidak berbeda secara signifikan bila dibandingkan dengan saat dalam kondisi terbuka. Kaca pada bukaan atas J2, J3, dan J4 adalah kaca bening diberi cat tipis warna putih susu (*back painted glass*) yang tidak mudah ditembus cahaya, sehingga fungsi bukaan tersebut lebih dominan sebagai lubang angin untuk sirkulasi udara. Dapat dilihat pada **Tabel 3**

## Objek Pembayang



Pembayangan akibat subtrak Kelas XII-B



Atap area parkir di Timur Kelas XII-D



Dinding Selatan Kelas XII-E tertutup massa bangunan baru



Vegetasi di Utara Kelas XII-B, tidak menghalangi cahaya



Vegetasi di Timur Laut Kelas XII-B, tinggi 12 m, agak rimbun



Vegetasi di Utara Kelas XII-D, tinggi 20 m, rimbun



Vegetasi di Timur Kelas XII-D, tinggi 10 m, cukup rimbun



Vegetasi pedestrian di Timur Kelas XII-E, sangat rimbun

**Gambar 5** Objek Pembayang

(Sumber: : (Latifah, Handika, et al., 2023), diolah)

### Kuat Penerangan Ruang Kelas

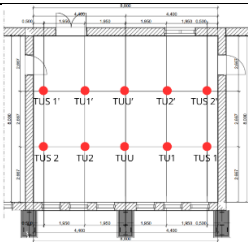
Kuat penerangan ruang kelas diukur menggunakan luxmeter pada hari Sabtu 14 Oktober 2023 dalam 2 sesi, dengan kondisi sesi 1 sebelum pukul 12.00 langit cerah dan sesi 2 setelah pukul 12.00 langit berawan. Saat pengukuran daun jendela luar kisi-kisi kayu dalam keadaan terbuka dan lampu dalam keadaan mati. Pada setiap kelas terdapat 6 Titik

Ukur Utama (TUU) di tengah ruang dan 4 Titik Ukur Samping (TUS) di dekat dinding, dengan pengaturan jarak tertentu. Bidang kerja diukur tepat di atas permukaan meja. Kuat penerangan memenuhi syarat tercapai minimal 350 lux hanya pada Sesi 2 di area paling dekat bukaan fasad Kelas XII-B dan Kelas XII-E. Seluruh rata-rata kuat penerangan per sesi di bawah batas minimal 350 lux. Lihat **Tabel 3**.

**Tabel 3** Kuat Penerangan Hasil Pengukuran Luxmeter

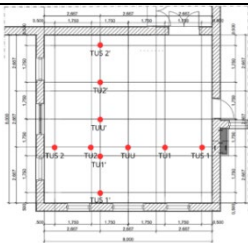
**Kuat Penerangan (Lux) Kelas XII-B - 14 Oktober 2023 - Sesi 1 09.45-10.40 WIB, Sesi 2 12.00-12.22 WIB**

| Sesi | TUS 1 | TU1 | TUU | TU2 | TUS2 | TUS1' | TU1' | TUU' | TU2' | TUS 2' | Rata2  |
|------|-------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|------|--------|--------|
| 1    | 22    | 33  | 243 | 23  | 190  | 83    | 98   | 88   | 156  | 95     | 174.90 |
|      | 5     | 3   |     | 8   |      |       |      |      |      |        |        |
| 2    | 54    | 75  | 372 | 59  | 526  | 116   | 165  | 143  | 160  | 10     | 348.60 |
|      | 5     | 8   |     | 5   |      |       |      |      |      | 6      |        |



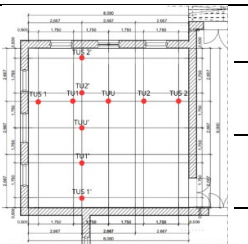
**Kuat Penerangan (Lux) Kelas XII-D - 14 Oktober 2023 - Sesi 1 10.40-11.15 WIB, Sesi 2 13.01-13.30 WIB**

| Sesi | TUS 1 | TU1 | TUU | TU2 | TUS2 | TUS1' | TU1' | TUU' | TU2' | TUS 2' | Rata2  |
|------|-------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|------|--------|--------|
| 1    | 88    | 80  | 149 | 23  | 91   | 95    | 175  | 120  | 93   | 63     | 118.40 |
|      |       |     |     | 0   |      |       |      |      |      |        |        |
| 2    | 58    | 43  | 87  | 15  | 135  | 75    | 130  | 71   | 50   | 31     | 83.00  |
|      |       |     |     | 0   |      |       |      |      |      |        |        |



**Kuat Penerangan (Lux) Kelas XII-E - 14 Oktober 2023 - Sesi 1 11.15-12.00 WIB, Sesi 2 12.22-13.01 WIB**

| Sesi | TUS 1 | TU1 | TUU | TU2 | TUS2 | TUS1' | TU1' | TUU' | TU2' | TUS 2' | Rata2  |
|------|-------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|------|--------|--------|
| 1    | 25    | 17  | 101 | 72  | 57   | 85    | 135  | 140  | 138  | 77     | 100.00 |
|      |       | 0   |     |     |      |       |      |      |      |        |        |
| 2    | 41    | 14  | 85  | 66  | 55   | 83    | 140  | 175  | 154  | 88     | 140.00 |
|      | 3     | 5   |     |     |      |       |      |      |      |        |        |



Sumber: : (Latifah, Handika, et al., 2023), diolah

### Reflaktansi Material Interior dan Simulasi Velux Daylight Visualizer 3

Model 3 dimensi dibuat di ArchiCAD dengan warna kondisi eksisting. Lihat **Gambar 6**. *Setting Light Reflectance Value (LRV)*/ reflektansi material pada model 3 dimensi tersebut dilakukan langsung di Velux. Model dibuat tanpa objek penghalang vegetasi dan atap area parkir, sehingga analisis yang dilakukan terhadap peningkatan kuat penerangan pada simulasi Velux berdasarkan komparasi antara kondisi reflektansi eksisting dan kondisi reflektansi usulan.

Material dengan reflektansi tidak tinggi (warna tidak muda/ tidak cerah) dan luasnya dominan pada kondisi eksisting yang dapat diganti warnanya agar reflektansinya menjadi tinggi, hanya dinding dan permukaan atas meja siswa karena tampilan material lantai, pintu, dan bukaan jendela harus dipertahankan. Warna *dark green* pada kusen juga dipertahankan sebagai salah satu identitas bangunan di kawasan militer. Reflektansi material interior yang diterapkan pada simulasi Velux dapat dilihat pada **Tabel 4**. Hasil simulasi Velux kondisi eksisting dan kondisi usulan dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.





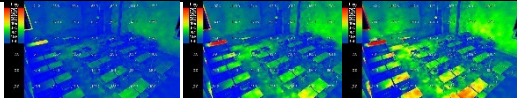
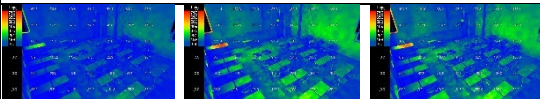
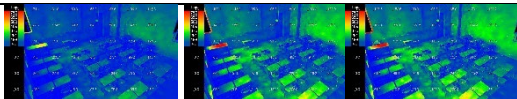
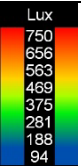
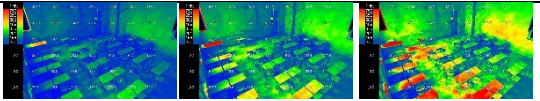

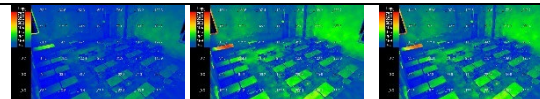


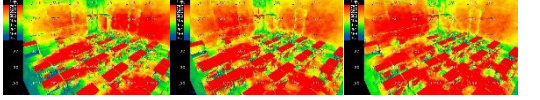
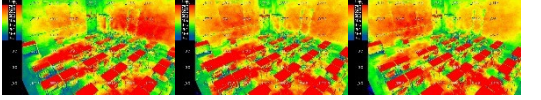
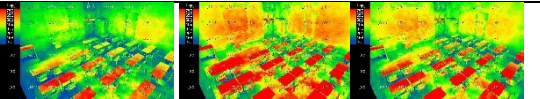
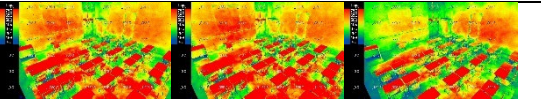

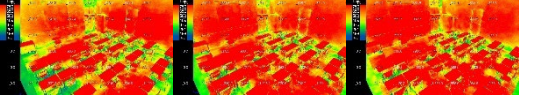
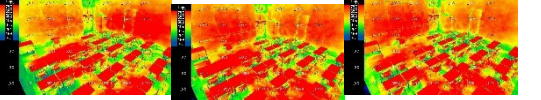
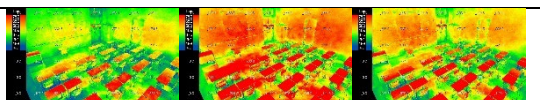
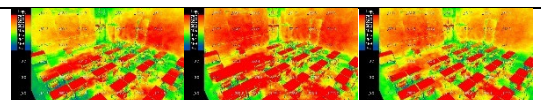
**Gambar 6** Model 3D ArchiCAD, Kondisi Eksisting (Sumber: penulis, 2024)

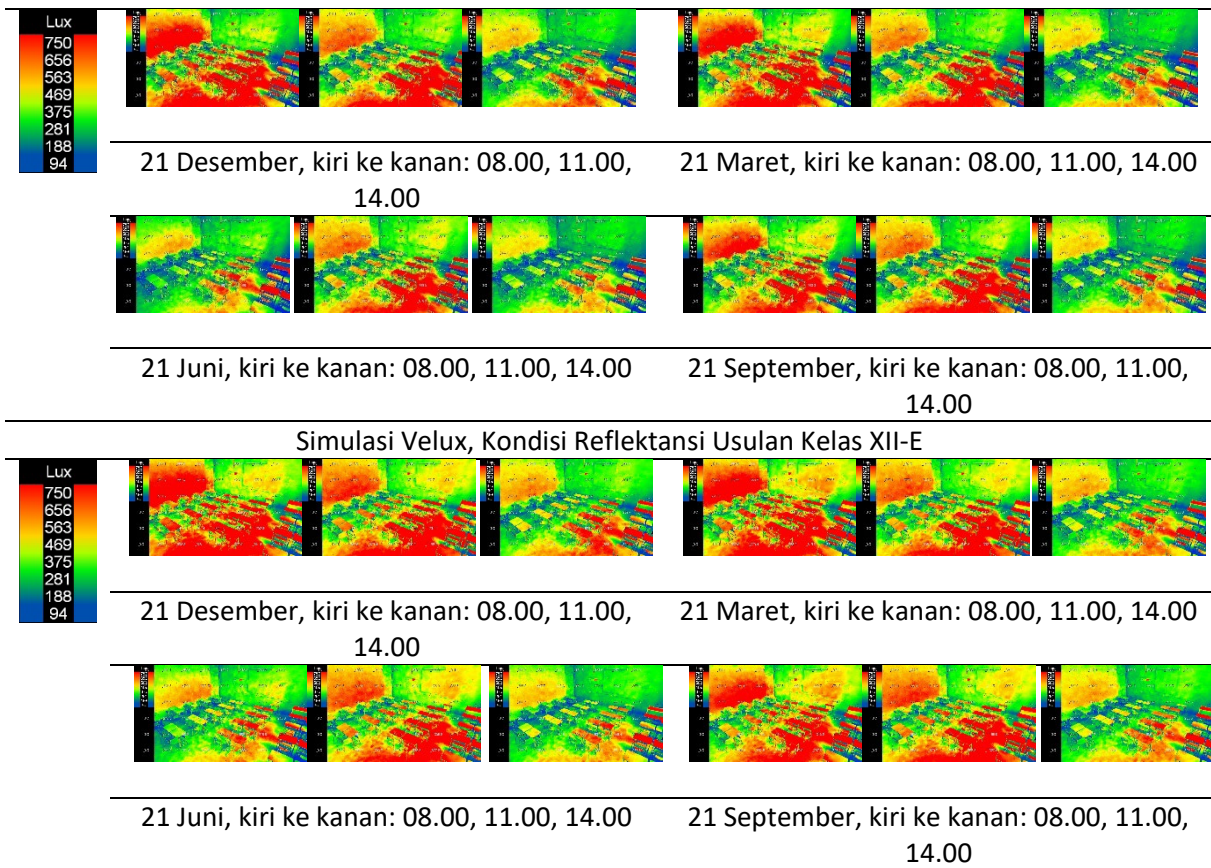
**Tabel 4** Reflektansi Material Interior Simulasi Velux Daylight Visualizer

| No. | Material                         | Reflektansi Material - Eksisting |       | Reflektansi Material - Usulan |       |
|-----|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| 1.  | Plafon                           | <i>White</i>                     | 0,800 | <i>White</i>                  | 0,800 |
| 2.  | Balok Kelas XII-B                | <i>White</i>                     | 0,800 | <i>White</i>                  | 0,800 |
| 3.  | Dinding Kelas XII-B              | <i>Yellow-Green</i>              | 0,550 | <i>Cream-White</i>            | 0,750 |
| 4.  | Dinding Kelas XII-D              | <i>Cream</i>                     | 0,600 | <i>Cream-White</i>            | 0,750 |
| 5.  | Dinding Kelas XII-E              | <i>Light Cream</i>               | 0,700 | <i>Cream-White</i>            | 0,750 |
| 6.  | Dinding koridor                  | <i>Cream (Doff)</i>              | 0,700 | <i>Cream-White</i>            | 0,750 |
| 7.  | Dinding koridor                  | <i>Cream (Glossy)</i>            | 0,750 | <i>Cream (Glossy)</i>         | 0,750 |
| 8.  | Lantai ubin                      | <i>Gray</i>                      | 0,200 | <i>Gray</i>                   | 0,200 |
| 9.  | Lantai ubin                      | <i>Red &amp; Black</i>           | 0,100 | <i>Red &amp; Black</i>        | 0,100 |
| 10. | Lantai Kelas D                   | <i>Cream</i>                     | 0,700 | <i>Cream</i>                  | 0,700 |
| 11. | Kusen pintu & bukaan             | <i>Dark Green</i>                | 0,100 | <i>Dark Green</i>             | 0,100 |
| 12. | Plin lantai                      | <i>Dark Green</i>                | 0,100 | <i>Dark Green</i>             | 0,100 |
| 13. | Daun pintu                       | <i>Light Cream</i>               | 0,750 | <i>Light Cream</i>            | 0,750 |
| 14. | Rangka metal meja-kursi (siswa)  | <i>White (Doff)</i>              | 0,500 | <i>White (Doff)</i>           | 0,500 |
| 15. | Permukaan atas meja kayu (siswa) | <i>Light Oak</i>                 | 0,350 | <i>Light Cream</i>            | 0,726 |
| 16. | Rangka kursi kayu (guru)         | <i>Light Oak</i>                 | 0,350 | <i>Light Cream</i>            | 0,726 |
| 17. | Meja kayu (guru)                 | <i>Walnut</i>                    | 0,100 | <i>Light Cream</i>            | 0,726 |
| 18. | Lemari kayu                      | <i>Mahogany</i>                  | 0,120 | <i>Light Cream</i>            | 0,726 |

(Sumber: penulis dengan mengacu (Enviro-Systems dan Luca, n.d.), 2024)

**Tabel 5** Tampilan Visual Hasil Simulasi Velux Daylight Visualizer

| Simulasi Velux, Kondisi Reflektansi Eksisting Kelas XII-B                           |  |
|---|--|
|    |     |
| 21 Desember, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |    |
|    |    |
| 21 Juni, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00   | 21 September, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |
| Simulasi Velux, Kondisi Reflektansi Usulan Kelas XII-B                              |  |
|    |     |
| 21 Desember, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |    |
|    |    |
| 21 Juni, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00   | 21 September, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |
| Simulasi Velux, Kondisi Reflektansi Eksisting Kelas XII-D                           |  |
|  |   |
| 21 Desember, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |  |
|  |  |
| 21 Juni, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00   | 21 September, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |
| Simulasi Velux, Kondisi Reflektansi Usulan Kelas XII-D                              |  |
|  |   |
| 21 Desember, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |  |
|  |  |
| 21 Juni, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00   | 21 September, kiri ke kanan: 08.00, 11.00, 14.00                                     |
| Simulasi Velux, Kondisi Reflektansi Eksisting Kelas XII-E                           |  |



Sumber: Penulis, 2024

Pada *setting* Velux, lokasi kota *Custom* dengan koordinat massa bangunan utama SMA 5 yaitu 107.616 E dan 6.912 S, dan *Orientation/* kemiringan massa 20 derajat. Tinggi bidang kerja sesuai dengan rata-rata tinggi permukaan meja siswa yaitu 710 mm dari permukaan lantai. Terdapat fluktuasi intensitas cahaya dalam ruang dimana perolehan sinar matahari langsung dipengaruhi posisi matahari di langit sepanjang tahun dan intensitas cahaya dari langit dipengaruhi kondisi awan/ cuaca.

Pada Velux hanya ada tanggal 21. Maka *Time of Year/* tanggal simulasi dipilih saat lintasan matahari paling Selatan (21 Desember), kondisi *equinox* (21 Maret dan 21 September), dan paling Utara (21 Juni), lalu *Sky Condition/* kondisi langit dipilih *Intermediate/* rata-rata karena langit di Indonesia tidak seperti kondisi cuaca musim dingin juga tidak tanpa awan seperti di daerah iklim tropis kering. Dengan waktu penggunaan ruang untuk kegiatan belajar-mengajar dari pukul 07.00 hingga pukul 15.00, sebagai *Time of day/* waktu dipilih per 3 jam yaitu pukul 08.00, pukul 11.00, dan pukul 14.00.

**Tabel 6** Rata-rata Kuat Penerangan (Lux) Hasil Simulasi Velux Daylight Visualizer

| KELAS B                       | 21 Des    |               | 21 Mar    |               | 21 Jun    |               | 21 Sep    |               | Rata-rata     |
|-------------------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|---------------|
| Kondisi Reflektansi Eksisting | 08.00     | 144,19        | 08.00     | 130,23        | 08.00     | 98,20         | 08.00     | 122,17        |               |
|                               | 11.00     | 241,27        | 11.00     | 212,23        | 11.00     | 180,26        | 11.00     | 203,03        |               |
|                               | 14.00     | 364,56        | 14.00     | 224,20        | 14.00     | 171,04        | 14.00     | 209,85        |               |
|                               | Rata-rata | <b>250,01</b> | Rata-rata | <b>188,89</b> | Rata-rata | <b>149,83</b> | Rata-rata | <b>178,35</b> | <b>191,77</b> |
| Kondisi Reflektansi Usulan    | 08.00     | 167,58        | 08.00     | 153,38        | 08.00     | 115,37        | 08.00     | 142,91        |               |
|                               | 11.00     | 278,63        | 11.00     | 248,09        | 11.00     | 212,56        | 11.00     | 235,32        |               |
|                               | 14.00     | 413,80        | 14.00     | 316,09        | 14.00     | 199,96        | 14.00     | 244,57        |               |
|                               | Rata-rata | <b>286,67</b> | Rata-rata | <b>239,19</b> | Rata-rata | <b>175,96</b> | Rata-rata | <b>207,60</b> | <b>227,36</b> |
| Peningkatan                   |           | <b>36,66</b>  |           | <b>50,30</b>  |           | <b>26,13</b>  |           | <b>29,25</b>  | <b>35,59</b>  |
| KELAS D                       | 21 Des    |               | 21 Mar    |               | 21 Jun    |               | 21 Sep    |               | Rata-rata     |
| Kondisi Reflektansi Eksisting | 08.00     | 693,26        | 08.00     | 638,54        | 08.00     | 382,30        | 08.00     | 559,68        |               |
|                               | 11.00     | 805,60        | 11.00     | 711,90        | 11.00     | 629,44        | 11.00     | 705,34        |               |
|                               | 14.00     | 855,99        | 14.00     | 685,64        | 14.00     | 474,44        | 14.00     | 557,13        |               |
|                               | Rata-rata | <b>784,95</b> | Rata-rata | <b>678,69</b> | Rata-rata | <b>495,39</b> | Rata-rata | <b>607,38</b> | <b>641,61</b> |
| Kondisi Reflektansi Usulan    | 08.00     | 788,56        | 08.00     | 727,96        | 08.00     | 436,73        | 08.00     | 639,80        |               |
|                               | 11.00     | 915,54        | 11.00     | 811,20        | 11.00     | 717,49        | 11.00     | 802,29        |               |
|                               | 14.00     | 972,53        | 14.00     | 783,31        | 14.00     | 549,47        | 14.00     | 637,36        |               |
|                               | Rata-rata | <b>892,21</b> | Rata-rata | <b>774,16</b> | Rata-rata | <b>567,90</b> | Rata-rata | <b>693,15</b> | <b>731,85</b> |
| Peningkatan                   |           | <b>107,26</b> |           | <b>95,46</b>  |           | <b>72,50</b>  |           | <b>85,77</b>  | <b>90,25</b>  |
| KELAS E                       | 21 Des    |               | 21 Mar    |               | 21 Jun    |               | 21 Sep    |               | Rata-rata     |
|                               | 08.00     | 707,72        | 08.00     | 672,04        | 08.00     | 393,34        | 08.00     | 591,29        |               |

|                                      |           |               |           |               |           |               |           |               |               |
|--------------------------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|---------------|
| <b>Kondisi Reflektansi Eksisting</b> | 11.00     | 645,87        | 11.00     | 590,32        | 11.00     | 595,98        | 11.00     | 621,76        |               |
|                                      | 14.00     | 431,86        | 14.00     | 401,41        | 14.00     | 387,60        | 14.00     | 392,41        |               |
|                                      | Rata-rata | <b>595,15</b> | Rata-rata | <b>554,59</b> | Rata-rata | <b>458,97</b> | Rata-rata | <b>535,15</b> | <b>535,97</b> |
| <b>Kondisi Reflektansi Usulan</b>    | 08.00     | 762,05        | 08.00     | 727,14        | 08.00     | 428,53        | 08.00     | 639,55        |               |
|                                      | 11.00     | 699,39        | 11.00     | 643,22        | 11.00     | 648,53        | 11.00     | 673,84        |               |
|                                      | 14.00     | 472,25        | 14.00     | 438,34        | 14.00     | 423,54        | 14.00     | 428,49        |               |
|                                      | Rata-rata | <b>644,56</b> | Rata-rata | <b>602,90</b> | Rata-rata | <b>500,20</b> | Rata-rata | <b>580,63</b> | <b>582,07</b> |
| <b>Peningkatan</b>                   |           | <b>49,41</b>  |           | <b>48,31</b>  |           | <b>41,23</b>  |           | <b>45,47</b>  | <b>46,11</b>  |

Sumber: Penulis, 2024

Berdasarkan hasil simulasi Velux Daylight Visualizer pada semua kelas, terlihat distribusi cahaya dalam arah sepanjang fasad di area perimeter bangunan terjadi merata karena bukaan memiliki desain yang serupa dan alokasinya pada fasad terdistribusi merata. Makin jauh dari bukaan fasad kuat penerangan pada bidang kerja menjadi menurun, tetapi perbedaannya wajar (tidak terlalu besar) karena dengan elevasi ambang atas bukaan yang ada kedalaman ruang masih memungkinkan pantulan cahaya alami dapat menjangkau area terjauh bidang kerja.

Pada simulasi pertama dengan model ruang-ruang kelas merupakan kondisi eksisting, reflektansi material plafon 80%, dinding 55% s/d 70%, dan permukaan meja siswa 35% telah ideal, tetapi warna gelap material lantai ubin yang didominasi *gray* dengan reflektansi hanya 20% secara signifikan menyerap cahaya. Untuk membantu meningkatkan kuat penerangan pada bidang kerja, pada simulasi berikutnya dengan kondisi usulan dilakukan perubahan reflektansi material menjadi lebih tinggi pada objek-objek dengan luas dominan yang masih memungkinkan untuk dirubah warnanya atau diganti materialnya, yaitu dinding dan furnitur. Plafon sudah berwarna putih dengan reflektansi tinggi 80%. Lantai tidak boleh diganti harus dalam kondisi atau tampilan sesuai aslinya. Warna dinding diusulkan menjadi *cream-white* dengan reflektansi 75%, lalu warna meja, kursi, dan lemari diusulkan menjadi *light cream* dengan reflektansi 72,6%.

Komparasi hasil kedua kondisi simulasi reflektansi eksisting dan reflektansi usulan menunjukkan terjadi peningkatan rata-rata kuat penerangan dengan nilai yang berbeda sesuai kondisi ruang masing-masing. Pada Kelas XII-B dengan alokasi bukaan hanya pada satu sisi fasad dan orientasinya cenderung ke arah Utara, diperoleh rata-rata kuat penerangan kondisi reflektansi eksisting 191,77 lux dan kondisi reflektansi usulan 227,36 lux dengan peningkatan hanya sebesar 35,59 lux. Pada Kelas XII-D dengan alokasi bukaan pada dua sisi fasad dan orientasinya cenderung ke arah Utara dan Timur, diperoleh rata-rata kuat penerangan kondisi reflektansi eksisting 641,61 lux dan kondisi reflektansi usulan 731,85 lux dengan peningkatan hanya sebesar 90,25 lux. Pada Kelas XII-E dengan alokasi bukaan pada dua sisi fasad dan orientasinya cenderung ke arah Timur dan Selatan tetapi bukaan sisi Selatan terhalang bidang dinding massa bangunan, diperoleh rata-rata kuat penerangan kondisi reflektansi eksisting 535,97 lux dan kondisi reflektansi usulan 782,07 lux dengan peningkatan hanya sebesar 46,11 lux. Berikut **Tabel 7** yang menunjukkan estimasi perolehan kuat penerangan yang dapat diperoleh bila nilai peningkatan rata-rata kuat penerangan hasil simulasi Velux kondisi ditambahkan pada rata-rata kuat penerangan hasil pengukuran luxmeter.

**Tabel 7** Peningkatan Rata-rata Kuat Penerangan (Lux)

|  | Rata-rata Kuat Penerangan           |                                     |                                     |                                     |                                     |                                     |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|  | KELAS XII-B                         |                                     | KELAS XII-D                         |                                     | KELAS XII-E                         |                                     |
|  | Sesi 1                              | Sesi 2                              | Sesi 1                              | Sesi 2                              | Sesi 1                              | Sesi 2                              |
| Hasil pengukuran luxmeter                              | 174,90 lux                          | 348,60 lux                          | 118,40 lux                          | 83,00 lux                           | 100,00 lux                          | 140,00 lux                          |
| Nilai peningkatan kuat penerangan hasil simulasi Velux | 35,59 lux                           | 35,59 lux                           | 90,25 lux                           | 90,25 lux                           | 46,11 lux                           | 46,11 lux                           |
| <b>Perolehan kuat penerangan</b>                       | <b>210,49</b>                       | <b>384,19 lux</b>                   | <b>208,65 lux</b>                   | <b>173,25 lux</b>                   | <b>146,11 lux</b>                   | <b>186,11 lux</b>                   |
| Analisis   | < 350 lux<br>Belum memenuhi standar | > 350 lux<br>Telah memenuhi standar | < 350 lux<br>Belum memenuhi standar | < 350 lux<br>Belum memenuhi standar | < 350 lux<br>Belum memenuhi standar | < 350 lux<br>Belum memenuhi standar |

Sumber: Penulis, 2024

Peningkatan rata-rata kuat penerangan melalui peningkatan reflektansi material pada Kelas XII-B

berhasil pada waktu pengukuran sesi 2 dimana rata-rata kuat penerangan dapat mencapai di atas nilai

minimal standar 350 lux, tetapi belum dapat memenuhi standar pada waktu pengukuran sesi 1 karena posisi matahari dominan di langit Timur sedangkan orientasi bukaan cenderung menghadap Utara miring 20 derajat ke arah Barat. Peningkatan rata-rata kuat penerangan melalui peningkatan reflektansi material pada Kelas XII-D pada waktu pengukuran baik sesi 1 maupun sesi 2 seluruhnya belum dapat memenuhi standar minimal 350 lux karena penerimaan cahaya banyak terhalang oleh objek pembayang berupa sejumlah vegetasi yang kondisinya tinggi dan berdaun rimbun di depan bukaan fasad Utara dan Timur juga oleh atap area parkir di depan bukaan fasad Timur.

Peningkatan rata-rata kuat penerangan melalui peningkatan reflektansi material pada Kelas XII-E pada waktu pengukuran baik sesi 1 maupun sesi 2 seluruhnya belum dapat memenuhi standar minimal 350 lux karena penerimaan cahaya banyak terhalang oleh objek pembayang berupa sejumlah vegetasi yang kondisinya tinggi dan berdaun rimbun di depan bukaan fasad Timur juga oleh dinding massa bangunan baru di depan bukaan fasad Selatan.

Walaupun dinding dan furnitur telah diganti nilai reflektansi material atau kemampuan pantulnya ternyata peningkatan kuat penerangan dari cahaya alami yang terjadi masih belum signifikan untuk memenuhi standar kenyamanan visual, karena keberadaan objek-objek pembayang berupa pohon-pohon tinggi dan rimbun yang sangat disayangkan untuk ditebang serta objek-objek buatan berupa massa bangunan baru yang tidak mungkin dibongkar dan atap area parkir. Disarankan bila area parkir tidak dapat direlokasi maka sebaiknya atapnya dibuat transparan.

Untuk mencapai kuat penerangan yang dibutuhkan di ruang kelas sebesar minimal 350 lux, diperlukan bantuan pencahayaan buatan dan disarankan menggunakan lampu LED yang efikasinya tinggi sehingga hemat energi. Sebaiknya juga diterapkan saklar ganda dimana penyalaan lampu area perimeter bangunan terpisah dengan area yang lebih dalam, sehingga penerimaan kuat penerangan pada bidang kerja dapat terdistribusi merata sesuai kebutuhan dan tidak berlebih yang dapat mengakibatkan efek silau bagi pengguna ruang.

## KESIMPULAN

Untuk mendukung kuat penerangan yang memenuhi kenyamanan visual, luas bukaan terhadap luas ruang sudah cukup besar, elevasi ambang atas bukaan terhadap kedalaman ruang sudah tepat, dan tingkat transparansi bukaan dari kaca bening sudah cukup besar, maka desain fasad tidak perlu diubah dan hal ini mendukung pemenuhan syarat bangunan cagar budaya Golongan A. Kurangnya perolehan kuat penerangan di dalam ruang (saat pengukuran lapangan menggunakan luxmeter) disebabkan keberadaan objek penghalang terutama oleh vegetasi rimbun dan penambahan massa bangunan baru.

Berdasarkan komparasi rata-rata dari simulasi Velux, bila tidak terdapat objek penghalang, dengan luas bukaan yang sama, alokasi bukaan pada dua sisi fasad (Kelas XII-D) dapat memberikan distribusi cahaya/ pantulan cahaya hasil refleksi yang lebih merata dan hasil rata-rata kuat penerangan 3,25 kali lebih tinggi dibandingkan hanya pada satu sisi fasad (Kelas XII-B). Dengan luas bukaan yang sama pada kedua sisi fasad, keberadaan objek penghalang berupa dinding pada satu sisi fasad (Kelas XII-E) dapat menurunkan rata-rata kuat penerangan menjadi 81% dibandingkan bila tidak terdapat objek penghalang (Kelas XII-D).

Walaupun desain fasad tidak memerlukan perubahan serta penggantian warna dan reflektansi material telah sesuai kondisi usulan, ternyata tidak terjadi peningkatan kuat penerangan pada bidang kerja yang cukup besar (untuk mencapai minimal 350 lux), maka agar dapat tercapai kenyamanan visual dengan tetap mereduksi energi penggunaan lampu secara signifikan diusulkan juga agar semua 4 buah lampu TL 36 Watt yang telah terpasang pada setiap ruang diganti menjadi lampu LED yang berefikasi tinggi. Agar dapat lebih mereduksi penggunaan energi sebaiknya diterapkan saklar ganda dimana penyalaan lampu area perimeter bangunan terpisah dengan area yang lebih dalam. Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan terkait konservasi dan efisiensi energi berdasarkan penggantian dan kontrol penyalaan lampu tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sebagai penulis dengan seluruh kerendahan hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan ibu kepala sekolah dan para staf guru SMA Belitung yang telah memberikan ijin dan bantuan sehingga kami dapat melakukan survey lapangan
2. Bapak Gosha Muhammad, S.T., M.A., bapak Eggi Septianto, S.T., M.T., dan bapak Arinaka Trisuharno, S.T., M.T. yang telah membantu dalam visualisasi 3 dimensi Gedung SMA Belitung kondisi lama (masa kolonial Hindia Belanda) menggunakan SketchUp

## DAFTAR PUSTAKA

- Adji, A. R. (2022). Kajian Kenyamanan Visual Melalui Pencahayaan Pada Ruang Kerja. *Jurnal Arsitektur ARCADE*, 6(1), 135. <https://doi.org/10.31848/arcade.v6i1.841>
- Alayan, M. S., & Majeed, F. A. (2023). The impact of low light reflectance value (LRV) surface position on interior space illumination. *AIP Conference Proceedings*, 2651(1). <https://doi.org/10.1063/5.0105415>
- Ariestadi, D., Winahyo, A. E., Dewi, C. P., Sari, A. A., & Ramadhani, V. M. (2023). Optimalisasi Desain Pencahayaan Alami Ruang Kelas dengan Analisis DIALUX EVO. *Review of Urbanism and Architectural Studies*, 21(2), 51–60. <https://doi.org/10.21776/ub.ruas.2023.021.02.6>
- Azizah, I., Ramawangsa, P. A., & Prihatinrum, A. (2024). Kajian Optimalisasi Pencahayaan Alami pada Ruang

- Tamu Hunian Pesisir di Kota Bengkulu. *Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(5), 1537–1546. <https://doi.org/10.38035/rj.v6i5.1007>
- Enviro-Systems, & Luca, M. De. (n.d.). *Reflectance Table*. Lightcalc. <https://www.lightcalc.com/book/book.html>
- Fakhr, B. V., Mahdavinejad, M., Rahbar, M., & Dabaj, B. (2023). Design Optimization of the Skylight for Daylighting and Energy Performance Using NSGA-II. *Journal of Daylighting*, 10(1), 72–86. <https://dx.doi.org/10.15627/jd.2023.6>
- Fernandes, L. L., & Regnier, C. M. (2023). Lighting and visual comfort performance of commercially available tubular daylight devices. *Solar Energy*, 251, 420–437. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2023.01.022>
- Geng, Y., Hong, B., Du, M., Yuan, T., & Wang, Y. (2022). Combined effects of visual-acoustic-thermal comfort in campus open spaces: A pilot study in China's cold region. *Building and Environment*, 209, 108658. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108658>
- Gusti, M. D. P. (2019). *Evaluasi Pencahayaan Alami pada Ruang Rawat Inap Nasional Hospital Surabaya*. Universitas Brawijaya.
- Halim, M., & Pangestu, M. D. (2023). Improvement Efforts of Lighting Performance and the Implementation of Energy-Saving Principles At Pujasera Foodstep Sitting Area in Parahyangan Residences Apartment Bandung 1. *Jurnal RISA (Riset Arsitektur)*, 07(02), 196–211. <https://doi.org/10.26593/risa.v7i02.6606.196-211>
- Ibhade, O., Ajayi, O. O., Abioye, A. A., Ismaila, J., & Adekunle, A. A. (2019). An evaluation of classroom-illumination: A critical requirement for effective designing and construction of naturally-illuminated schools in Nigeria. *Progress in Industrial Ecology*, 13(4), 342–372. <https://doi.org/10.1504/PIE.2019.102849>
- Ibrahim, A. R., & Diana Sulowati. (2023). Pengaruh Pencahayaan Alami Terhadap Kenyamanan Visual Pengguna Studi Kasus: Bening Coffee & Space. *Jaur (Journal of Architecture and Urbanism Research)*, 7(1), 31–37. <https://doi.org/10.31289/jaur.v7i1.9392>
- Idrus, I., Rahim, R., Hamzah, B., Mulyadi, R., & Jamala, N. (2019). Evaluasi Pencahayaan Alami Ruang Kelas di Areal Pesisir Pantai Sulawesi Selatan. *Jurnal Linears*, 2(2), 73–78. <https://doi.org/10.26618/j-linears.v2i2.3125>
- Ismajaya, M. A., & Jamala, N. (2023). Optimalisasi Pencahayaan Alami Gedung Perpustakaan (Studi Kasus: Gedung Perpustakaan Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar). *Nature National Academic Journal of Architecture*, 10(2), 157–165. <https://doi.org/10.24252/nature.v10i2a4>
- Jannah, M. Z. (2022). Analisis Pencahayaan Alami Rumah Tinggal Menggunakan Simulasi Dialux. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 11(3), 149–152. <https://doi.org/10.32315/jlbi.v11i3.115>
- Jia, Y., Liu, Z., Fang, Y., Zhang, H., Zhao, C., & Cai, X. (2023). Effect of Interior Space and Window Geometry on Daylighting Performance for Terrace Classrooms of Universities in Severe Cold Regions: A Case Study of Shenyang, China. *Buildings*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/buildings13030603>
- Latifah, N. L., Handika, S. Y., Firdaus, R. Y., Fitri, S. N., & Hermawan, Y. T. (2023). *Identifikasi Bangunan Cagar Budaya SMAN 5 Bandung Terkait Kenyamanan Visual*.
- Latifah, N. L., Paskal, R., Wigna, D., Darmawan, T., & Mundika, S. K. (2021). Desain Bangunan Eks Kolonial Terkait Kenyamanan Visual dengan Pencahayaan Alami Studi Kasus Gedung Negara Cirebon. *Jurnal Arsitektur TERRACOTTA*, 2(2), 112–123.
- Latifah, N. L., Subekti, B., & Sulistiawan, A. P. (2023). Pemeliharaan dan Perawatan Gedung SMA Belitung sebagai Salah Satu Upaya dalam Pelestarian Bangunan Cagar Budaya di Bandung. *REKA KARYA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 73–87. <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekakarya/article/view/8370>
- Lestari, L., Alhamdani, M. R., Muazir, S., Nurhamsyah, M., & Chairiah, A. (2024). Performa Pencahayaan Alami Ruang Kelas Sekolah Di Kota Pontianak. *Jurnal Arsitektur ARCADE*, 7(4), 580–587. <https://doi.org/10.31848/arcade.v7i4.1101>
- Pinem, L. S. M., Atthailah, A., Fahrizal, E., Saputra, E., & Badriana, B. (2022). Simulasi Pencahayaan Alami Siang Hari terhadap Desain Fasad (Studi Kasus: Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Malulussaleh). *Nature National Academic Journal of Architecture*, 9(1), 71–82. <https://doi.org/10.24252/nature.v9i1a6>
- Prasetyo, S. P., Syakran, R., & Bahar, F. F. (2022). Pengaruh Ukuran Bukaannya Terhadap Pencahayaan Alami pada Perencanaan Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Ibu dan Anak di Kota Jambi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 5(1), 23–27. <http://daurling.unbari.ac.id/index.php/darling/article/view/99>
- Purnama, M. S. S., Pratama, M. R. D., Nugraha, D., & Lutvaidah, U. (2023). Kajian Material Refleksi Dalam Pada Dinding Terhadap Intensitas Pencahayaan Alami. *Jurnal Arsitektur ARCADE*, 7(2), 213. <https://doi.org/10.31848/arcade.v7i2.3151>
- Putra, R. N. G., Nugraha, A. E., & Herwanto, D. (2021). Analisis Pengaruh Intensitas Pencahayaan Terhadap Kelelahan Mata Pekerja. *Jurnal Teknik*, 15(1), 81–97.
- Ren, Y., & Su, M. (2021). Simulation Experiment on Tunnel Lighting Aided by High Diffuse Reflectance Materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 714(3), 0–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/714/3/032043>
- Rusmaharani, D., & Setiabudi, W. (2024). Analisa Penerapan Konsep Desain Interior Natural Tropis sebagai Optimalisasi Pencahayaan Alami Ruang Kelas SMK Dewantara. *Jurnal Arsitektur ARCADE*, 8(2), 118–126. <https://doi.org/10.31848/arcade.v8i2.3315>
- Selim, F., Elkholy, S. M., & Bendary, A. F. (2020). A new trend for indoor lighting design based on a hybrid methodology. *Journal of Daylighting*, 7(2), 137–153. <https://doi.org/10.15627/jd.2020.14>
- SNI 03-6197: 2020 Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan, Standar Nasional Indonesia 1 (2020).
- Wahyuni, R. N., Natalisanto, A. I., Putri, E. R., Mislana, M., & Supriyanto, S. (2023). Analisis Tingkat Pencahayaan Alami dan Buatan Ruang-Ruang Kuliah di Science Learning Center (SLC) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman. *Progressive Physics Journal*, 4(2), 283–290. <https://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/ppj/article/view/1022>